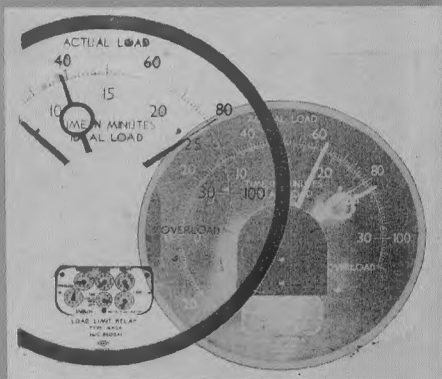




جامعة حفر بون العلوم والتكنولوجيا

القياسات الكهربائية



تأليف

الدكتور سنان محمود عطار بابشي

الدكتور مظفر انور النعمة

القياسات الكهربائية

القياسات الكهر بائية

تأليف

الدكتور مظفر أنور النعمه

الدكتور سنان محمود عطار باشي

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَكُلُّ شَيْءٍ عِنْدَهُ بِمِقْدَارٍ

سورة الرعد الآية ٨

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

شكر وتقدير
نود أن نسجل شكرنا الى من ساهم في تقويم الكتاب واخراجه ونخص
منهم :
المقوم العلمي : الدكتور سهيل سعدالله . مدير مركز الحاسبة الالكترونية /
جامعة بغداد
المقوم اللغوي : السيد علي كمال الدين الفهادي كلية الآداب / جامعة
الموصل
وكذلك نشكر منتسى مديرية دار الكتب للطباعة والنشر على جهودهم
القيمة في إنجاز وطبع الكتاب .
داعمين المولى عز وجل أن يوفقهم جميعاً لصالح الاعمال .

المؤلفان

كانتون الثاني ١٩٨٨

المحتويات

الباب الاول

الفصل الاول

مقدمة القياسات الكهربائية

- ١٧ 1.1 لمحة تاريخية عن تطور القياسات واجهزتها
- ١٨ 1.2 وحدات القياس
- ٢٢ 1.3 طبيعة قياس الكميات الكهربائية
- ٢٥ 1.4 فن القياس

الفصل الثاني

اخطاء القياس

- ٣١ مقدمة
- ٣١ 2.1 تعاريف مهمة
- ٣٣ 2.2 تصنيف الاخطاء
- ٣٤ 2.2.1 الاخطاء الاجمالية
- ٣٧ 2.2.2 اخطاء الجهاز
- ٤١ 2.2.3 اخطاء البيئة
- ٤١ 2.2.4 اخطاء اجراء القراءة
- ٤٢ 2.2.5 الاخطاء المتخلفة
- ٤٢ 2.3 طرق تجنب الاخطاء
- ٤٣ 2.4 التحليل الاحصائي
- ٤٧ 2.5 احتمالات الخطأ
- ٤٨ 2.6 مسائل

الفصل الثالث

تحليل الدوائر الكهربائية

- ٥١ 3.1 مقدمة
- ٥١ 3.2 تمثيل المصادر
- ٥٢ 3.3 ملخص لشبكات المقاومة

٥٤	3.4 تحليل دوائر المقاومة
٦٧	3.5 المهامة والمعاوقة
٧١	3.6 المساية والتقبلية
	3.7 ربط التوالي والتوازي
٧٩	3.8 دائرة التوالي لـ RLC
٨٦	3.9 دائرة التوازي المنغمة
٩٥	3.10 التأثير السطحي
٩٦	3.11 المهامة المتبادلة
٩٨	3.12 دوائر الاقتران
١٠٤	3.13 مسائل

الفصل الرابع

اجهزة قياس التيار المستمر :

مقدمة

١٠٩	4.1 الكلفانوميتر
١١٠	4.2 انحراف الكلفانوميتر والحساسية
١١٤	4.3 مقياس التيار المستمر
١٢٠	4.4 مقياس فولتية dc
١٢٤	4.4.1 حساسية مقياس الفولتية
١٢٦	4.4.2 تأثير التحميل
١٣٠	4.5 مقياس المقاومة
١٣٠	4.5.1 مقياس المقاومة نوع التوالي
١٣٨	4.5.2 مقياس المقاومة نوع التوازي
١٤٢	4.6 معايرة مقياس التيار المستمر
١٤٤	4.7 معايرة مقياس فولتية dc
١٤٥	4.8 مسائل

الفصل الخامس

اجهزة التيار المتناوب

مقدمة

- ١٤٩ 5.1 الدايمنوميتر
- ١٥٢ 5.2 اجهزة الحديدة المتحركة
- ١٥٣ 5.3 اجهزة الملف المتحرك المزود بمعدل
- ١٥٩ 5.4 مقياس فولتية الكهربائية المستقرة
- ١٥٩ 5.5 اجهزة القياس الحرارية
- ١٦٠ 5.6 مفايس القدرة
- ١٦٤ 5.6.1 استخدام ملف التصحيح في مقياس القدرة
- ١٦٤ 5.6.2 مقياس القدرة لثلاثة اطوار
- ١٦٥ 5.6.3 مقياس القدرة الخيالية
- ١٦٨ 5.7 مقياس الطاقة
- ١٦٩ 5.8 مقياس عامل القدرة
- ١٦٩ 5.9 مقياس التردد
- ١٧١ 5.10 محولات الاجهزة
- ١٧٢ 5.10.1 محولات التيار
- ١٧٦ 5.10.2 محولات الفولتية
- ١٨٠ 5.11 المسائل

الفصل السادس

المجهاد والتطبيقات

مقدمة

- ١٨٥ 6.1 المجهاد واستخداماته
- ١٨٦ 6.2 انواع المجهاد
- ١٨٨ 6.3 قياس المايكرو فولت بالمجهاد
- ١٨٩ 6.4 قياس التيار بوساطة المجهاد
- ١٩١ 6.5 مجهاد التيار المتناوب
- ١٩٢ 6.6 قياس المقاومة
- ١٩٤ 6.6.1 طريقة مقياس المقاومة

١٩٤	6.6.2 طريقة الجهاد
١٩٥	6.7 القناطر الكهربائية
١٩٥	6.7.1 قنطرة ويتستون
١٩٩	6.7.2 قنطرة كلفن المزدوجة
٢٠٠	6.8 قياس المقاومات العالية
٢٠١	6.9 قناطر التيار المتناوب
٢٠٢	6.10 قناطر قياس الحثية
٢٠٣	6.10.1 قنطرة ماكسويل - الحثية
٢٠٣	6.10.2 قنطرة ماكسويل الحثية - السعوية
٢٠٥	6.10.3 قنطرة هاي
٢٠٩	6.104 قنطرة اندرسن
٢١١	6.105 قنطرة اوين
٢١٢	6.11 قياس الحثية التبادلية
٢١٥	6.12 قياس الحثية الذاتية
٢١٦	6.13 قياس المتسمة
٢١٦	6.13.1 طريقة جهاد التيار المتناوب
٢١٦	6.13.2 قنطرة دي ساتوى
٢١٦	6.13.3 قنطرة شيرنج

الفصل السابع

	مرسمة الترددات
٢٢٣	مقدمة
٢٢٤	7.1 تركيب المرسمة
٢٢٦	7.2 رسم الاشارة على الشاشة
٢٢٨	7.3 انبوبة اشعة المهبط
٢٢٩	7.3.1 عمل المرسمة
٢٣٠	7.3.2 التركيب البؤري الكهروستاتيكي
٢٣٥	7.3.3 الانحراف الكهروستاتيكي
٢٤٣	7.4 انواع الشاشات
٢٤٤	7.5 ربط الانبوبة مع اجزاء المرسمة
٢٤٥	7.6 منظومة الانحراف الموودي
٢٤٩	7.7 قياس زاوية الطور والتردد
٢٥٢	7.8 مسائل

الفصل الثامن اجهزة القياس الالكترونية

٢٥٦	مقدمة
٢٥٧	8.1 المقاييس الالكترونية للفولتية التناظرية
٢٥٨	8.1.1 خصائص مغير الفولتية
٢٥٨	8.1.2 مقاييس الفولتية ج.م.ت
٢٦١	8.1.3 المقاييس الالكترونية لمعدل الفولتية
٢٦٣	8.1.4 مقياس ذروة الفولتية
٢٦٤	8.2 اختيار الجهاز
٢٦٥	8.3 الاجهزة التفاضلية
٢٦٦	8.4 تنفيذ مقياس الفولتية من مضخم
٢٦٩	8.5 المقاييس الالكترونية الرقمية
٢٧٧	8.6 مواصفات مقاييس الفولتية (الرقمية والتناظرية)
٢٨١	8.7 المقاييس الالكترونية متعددة الاغراض
٢٨٢	8.8 قياسات الاجهزة متعددة الاغراض
٢٨٣	8.9 المقاييس الالكترونية للقدره
٢٨٤	8.10 المقاييس الالكترونية للطاقة الكهربائية
٢٨٤	8.11 المذبذبات الالكترونية
٢٨٥	8.11.1 اصناف المذبذب
	8.11.2 مذبذبات التغذية العكسية
٢٩٠	8.11.3 المواصفات العامة للاداء
٢٩٠	8.11.4 مصادر الخطأ في المذبذبات
٢٩٣	8.12 الاجهزة الالكترونية لتحليل الموجات
٢٩٤	8.12.1 محللات الشبكات الكهربائية
٢٩٤	8.12.2 محللات الطيف الموجي
٢٩٤	8.12.3 محلل فورير
٢٩٥	8.13 مسائل

الفصل التاسع

٢٩٩	معداد التردد قياس المدة الزمنية
٣٠١	9.1 مبادئ المعداد الترددي
٣٠٦	9.2 المعدادات العارضة
٣٠٨	9.2.1 القاعدة الزمنية
٣٠٩	9.2.2 عمليات ادخال الاشارة
٣١٢	9.2.3 قياس المدة الزمنية
٣١٤	9.3 اخطاء القياس
٣١٩	9.4 توسيع المدى الترددي للمعداد
٣٢١	9.5 معداد الترددات الواطئة
	المسائل

الفصل العاشر

مفهرات الاشارة

٣٢٣	10.1 تعريف
٣٢٦	10.2 انواع مفهرات الاشارة
٣٢٩	10.3 مقاومة مقياس الاجهاد
٣٣٢	10.4 تأثير الاهتزاز ودرجة الحرارة على عمل مقياس الاجهاد
٣٣٥	10.5 تطبيقات مقياس الاجهاد
٣٤١	10.6 مقياس سرعة الهواء والغازات
٣٤٤	10.7 اجهزة التحسس الضوئي
٣٤٤	10.8 مفهرات الاشارة الكهرومغناطيسية
٣٤٨	10.9 مقياس السرعة باستخدام الدوار المسنن
٣٤٨	10.10 مفهرات الاشارة ذات المفاعلة المتغيرة
٣٤٨	10.10.1 التغيرات السعوية
٣٥٠	10.10.2 التغيرات الحثية
٣٥٢	10.11 الهولة التفاضلية
٣٥٤	10.12 المتزامن
	10.13 الهولة الذاتية

٢٥٥	10.14	اجهزة شبه الموصلات
٢٥٦	10.15	المقاومة الحرارية
٢٦١	10.16	مغيرات الاشارة الكهروضوئية
٢٦٨	10.17	مغيرات الاشارة المعتمدة على كهريائية الاجهاد
٢٦٨	10.18	مغيرات الاشارة المعتمدة على العناصر الكهروحرارية
٣٧٢		مسائل المصادر

القياسات الكهربائية

وكل شيء عنده بمقدار (الرعد ٨)

مقدمة :

لا يخفى على احد ازدياد الحاجة الى القياسات الكهربائية خاصة في الوقت الحاضر بسبب التقدم التكنولوجي . وقد تعددت أنواع واستخدام أجهزة القياس للحاجة الى زيادة الدقة والسهولة في القياس .

ومن المدهر بالذكر أن أجهزة القياس الكهربائية لاستخدام لأغراض تخصص الهندسة الكهربائية فحسب ، ولكن أنتشر استخدامها لتخصصات كثيرة بسبب سهولة استخدام هذه الأجهزة فضلاً عن امكانية تحويل الكميات الفيزيائية المختلفة الى كميات كهربائية وبالعكس .

ولهذا أصبح لزماً على طلاب الهندسة الكهربائية معرفة أنواع القياسات وأجهزة القياس وأسلوب التعامل مع القراءات وتصحيحها .

إن دراسة القياسات الكهربائية مرتبطة بدراسة علوم الهندسة الكهربائية المختلفة مثل الدوائر الكهربائية والالكترونيك وغيرها وكذلك الاطلاع الجيد على وحدات القياس وبعض المعلومات الاحصائية الاساسية .

يتضمن الكتاب عشرة فصول تناولت معظم المفردات المقررة لهذه المادة حسب المفاهيم الجديدة التي أقرت في مؤتمر التعليم العالي في تموز ١٩٨٧ . فضلاً الى بعض التقنيات الالكترونية الحديثة التي استحدثت في موضوع القياسات الالكترونية أملين أن نكون قد وقفنا لتنظية المنهج بأسلوب واضح يقود الطالب الى معرفة .أسس وتطبيقات هذه المادة .

ومن الله التوفيق

المؤلفان :

حزيران ١٩٨٧

مقدمة عن القياسات الكهربائية

١.١ نظرة تاريخية عن تطور القياسات واجهزتها :

إن عملية القياس هي نتيجة لاستخدام أجهزة القياس ويوجد في الوقت الحاضر عدد لا يحصى من أنواع القياس يقابل ذلك العدد الهائل من الاجهزة المختلفة منها البسيط والمعقد وتتناب هذه الاجهزة بالدقة في القراءة أو السهولة في الاستخدام والتشغيل أو بقابليات أخرى مثل جودة الصنع والمرونة وتعدد الاستعمالات ، على الرغم من أن الاساس في القياس ثابت ولم يطرأ عليه تغيير جوهري . ولفهم ذلك لابد من الارشاد هنا الى أن الخواص الفيزيائية التي يمكن قياسها محدودة من حيث التطبيق وإن معظم الخصائص يجب أن تترجم الى نظائرها من الخواص الكهربائية لنتمكن من قياسها بعد تحويل تلك الخاصية الفيزيائية الى كمية كهربائية وبالنتيجة سنتمكن من ترجمة وتحسس وقراءة الكمية بمواسن الاعتيادية أو نقلها الى الحاسبة الالكترونية لاجراء التحليلات اللازمة وكل هذه الخطوات من أسس عملية القياس وهي قابلة للتطور دوماً .

لا يخفى على أحد بأن التقدم التكنولوجي مقرون دائماً بتقدم القياس وهناك اعتقاد سائد على أن تقدم الشعوب يقاس بدرجة دقة القياسات لديها وإن هذا السياق ينطبق على استخدام القياسات المتطورة للأعمال والبحوث ذات المستوى الرفيع وبمكسه فإن العلوم البسيطة يمكن أن تكون قياسات تجاربها بسيطة أيضاً .

إن فكرة القياس تعتمد في الوقت الحاضر على أسس الكترونية او كهربائية لاسباب معروفة وهي أولاً سهولة تحويل المعلومات والخصائص الفيزيائية الى كهربائية مثل الحرارة والسرعة والمسافات والضوء والصوت والضغط .

وثانياً وبعد تحويل الظاهرة الفيزيائية الى كهربائية يمكن نقلها بسهولة الى مكان بعيد . ونتيجة لذلك فإنه وخلال السنين الاخيرة حصلت تطورات جوهرية بسبب التقدم الحاصل في مجال الالكترونيك وخاصة لما لهذا الاستخدام من فوائد في زيادة دقة القياس أو سهولة القياس لان القراءة تسجل أو تقرأ بشكل مباشر ولا داعي لتضيق الوقت في تصحيح أو تغيير القراءة وأما الحاسبة فأنها هي الاخرى زادت من سهولة الحصول على النتائج بعد اجراء حسابات معينة . وفي الخمسينات كانت الاجهزة تعمل على أسس ميكانيكية وصعبة الاستخدام وفي كثير من الحالات لم يمكن من استخدام الاجهزة الا اصحابها الذين صمموها بأنفسهم أو أن تتوفر مهارة خاصة لدى اشخاص آخرين ليتسنى لهم استخدامها بكفاءة .

وفي هذه الايام وعلى الرغم من سهولة الاستخدام انه يجب على مستخدم الجهاز أن يلم مسبقاً تماماً جيداً بالجهاز وخصائصه ومحددات أدائه والظروف المثالية في استخدام الجهاز واحتمالات الاخطار ومصادرها الى غير ذلك من الامور مما يتوجب عليه اتخاذ القرار الصائب لاختبار الجهاز المناسب للقياس المناسب وهذا هو الغرض من دراسة هذا النوع من العلوم والمعروف بهدسة القياس .

2-1 وحدات القياس :

الوحدات الكهربائية القياسية الدقيقة ضرورية للمهندس الكهربائي والفيزيائي كضرورة شريط القياس للملاح أو ساعة التوقيت للرياضي أو القياسات في المجالات الاخرى فان التطور التقني يعتمد على وحدات القياس المستخدمة وقد كون العلماء الكهربائيون نظاماً خاصاً للوحدات واجريت عليها تطورات مع تطور العلوم الكهربائية .

ففي عصر الكهرباء الاول اي في بداية القرن التاسع عشر كانت الخواص والظواهر الكهربائية تحدد بالملاحظات والملاحظات النوعية وبمدها أصبحت تلك الظواهر أكثر وضوحاً وكان بالإمكان التوصل الى العلاقات الكمية وأن اول تلك المشاهدات كان في الحصول على الكهرباء بواسطة ذلك وهذا أدى الى

دراسة علاقة وتأثير الشحنات وسميت بالكهربائية المستقرة ومنها جاءت أول علاقة لكبة كهربائية واضحة وهي القوة بين الشحنات وما يعرف الآن بقانون كولوم . عندما تم انتاج التيار المستمر نتيجة اكتشاف الخلية الفولتية من قبل العالم فولتا عام ١٨٠٠ انتشر استخدام الكهرباء في مجالات متنوعة بضمنها دوران المحركات والمصابيح وانتاج القوس الكهربائي والمغناطيس الكهربائي . وبدأ تكوين الشبكات للدوائر الكهربائية عام ١٨٢٧ عندما أوجد العالم أوم قانونه المعروف باسمه حيث عبر عن كمية التيار المار في دائرة يعتمد مباشرة على القوة أو الضغط الكهربائي والمعروفة بالفولتية وعكسياً على خصائص الدائرة المعروفة بالمقاومة وعندها لم يكن لدى العالم أوم معرفة بوحدات الامبير والفولت والامم لقياسها عدا حركة وتأثير المقياس النسبية وقد كانت تعرف المقاومة في البدايه بمقاومة سلك نحاس غير محدود وحسب توفره وبما يشبه استخدام الانسان لوحدة الطول غير الثابتة في بداية قياسه للاطوال وكذلك الحال بالنسبة للاوزان وعلى هذا الاساس اصبح من الضروري استحداث نظام عالمي للوحدات ليسهل تبادل المعلومات بين العلماء والمجربين وكذلك اصبح ضروريا عدم حصر الوحدات في عدد محدود من الناس لايفهمها سواهم وعليه يجب أن نوثق بعلاقات مع الوحدات الاخرى مثل وحدات الطول والطاقة وغيرها . وقد أجرى العالم اورستد اول خطوة نحو ذلك عام ١٨٣٢ عندما فاس المجال المغناطيسي الارضي بدلالة الطول والكتلة والزمن واما العالم كوراش عام ١٨٤٩ فقد تمكن من قياس المقاومة بدلالة الوحدات الميكانيكية وكذلك العالم وبير عام ١٨٥١ الذي وضع نظاماً متكاملأ للوحدات الكهربائية بدلالة الوحدات الميكانيكية وبعد احرازه أساس الوحدات الكهربائية في الوقت الحاضر .

في عام ١٨٦١ قامت المؤسسة البريطانية بتكوين وحدات قياسية للمقاومة وقد اشترك في هذا العمل علماء ذلك العصر منهم ماكسويل وجول وكلفن ووينستون وقرروا اعتماد فكرة وبير الكهرومغناطيسية المعتمدة على نظام السنتيمتر والغرام والثانية للوحدات الميكانيكية . وقرروا جعل وحدة قياس المقاومة تساوي 10^9 وحدة كهرومغناطيسية وقررت المؤسسة البريطانية للوحدات عام ١٨٦٤ جعل هذه الوحدة تساوي مقاومة سلك ملف من سببكة البلاتين والفضة يحفظ في حاوية مملوءة بزيت البرافين لحماية السلك من الصدأ والوحدات العملية الحالية أوم تساوي من الناحية النظرية 10^9 من الوحدات الكهرومغناطيسية حتى عصرنا هذا . وعلى أية حال يجب أن ينظر الى الوحدات بأنها كميات ثابتة يتم الرجوع اليها ويكون تداولها مفهوماً من قبل الاوساط كافة . وهناك قصص كثيرة أخرى على تدرج الوحدات القياسية الاخرى لاجمال لذكرها جميعاً .

الوحدات القياسية العالمية الكهربائية :

استخدم المهندسون والعلماء الكهربائيون النظام العشري المستخدم في النظام الفرنسي واعتبروه أساساً لنظم الوحدات الذي استخدم ونمى بنظام ستمتري C.G.S (ستمتري ، غرام ثانية) ثم استبدل الغرام بالكيلوغرام والستمتري بالمتر فتحول نظام الوحدات الى مايسمى بالـ M.K.S (متر ، كيلوغرام ، ثانية) الا أن هذا النظام تطور الى ما يدعى بالـ S.I وهو مختصر في اللغة الفرنسية **Standard le International** وقد وجدت دول كثيرة فائدة النظام وتجانسه وارتباط وحداته مع بعضها بعلاقات رياضية بسيطة وواضحة وأنه يشابه الى حد بعيد نظام الـ M.K.S .

وللتعريف بنظام الـ S.I نود أن نشير الى أن النظام هذا اختار ست كميات فيزيائية أساسية دعت وحداتها بالوحدات الاساسية وهي الكتلة والطول والزمن والتيار الكهربائي ودرجة الحرارة المطلقة وشدة الاستضاءة اما وحدات الكميات الاخرى فهي وحدات مشتقة من هذه الوحدات وترتبط معها بعلاقات خاصة كما يتضمن النظام عوامل للضرب **prefix** تضاف قبل الوحدات لتبيان بعض المضاعفات العشرية وبين الجدول (1.1) بعضاً من هذه البادئات ورموزها :

جدول (1.1) رموز ومعاني البادئات

الرمز	البادئة	معامل الضرب
T	tera تيرا	10^{12}
G	giga جيكا	10^9
M	mega ميكا	10^6
k	kilo كيلو	10^3
m	milli ملي	10^{-3}
u	micro ميكرو	10^{-6}
n	nano نانو	10^{-9}
p	pico بيكو	10^{-12}

يلاحظ في هذا الجدول أن كافة الكميات ذات الموجب يرمز لها بالحروف اللاتينية الكبيرة عدا رمز الكيلو الذي يستعمل حرفاً صغيراً أو كبيراً . أما الكميات ذات الاس السالب فتستخدم الحروف الصغيرة وبشذ عن ذلك استخدام الحرف الاخر بقى # (ميو) .

كما أن هناك بادنة شائعة أخرى هي الستي centl لاستخدامها مع المتر كجزء من مائة منه .

لقد عرف المتر في النظام القياسي الدولي بأنه 1650 763.73 مرة بقدر طول موجة الاشعاع البرتقالي لعنصر الكريبتون 86 . وهذا الطول يعادل طول المتر المعروف منذ حوالي القرنين من الزمن في فرنسا . أما الوحدة الأساسية للكتلة فهي الكيلوغرام وتعادل تقريباً وزن الف سنتيمتر مكعب من الماء في 4°م والوحدة الأساسية للزمن هي الثانية وقد عرفت بدقة بدلالة فترة التردد الانتقالي بين مدارات ذرة السيزيوم .

أما وحدة درجة الحرارة فهي درجة كلفن . والوحدة الأساسية لشدة الضوء هي الكانديلا . وبقيت هناك الوحدة الأساسية الأخيرة المهمة في دراسنا وهي الأمبير Ampere والتي تعادل سريان شحنة مقدارها كولوم Coloumb واحد بالثانية . لذا علينا أن نعرف الكولوم الذي هو وحدة الشحنة وسيتم ذلك بعد قليل .

بتمضم أساس نظام الوحدات القياسية العالمية تجانساً في اشتقاق وحداته الثانوية . فوحدة القوة force مثلاً تشتق من قانون نيوتن والذي يوص على أن القوة تساوي الكتلة mass مضروبة في التمعيل . لذلك فإن وحدة القوة تعادل وحدة الكتلة وهي الكيلوغرام مضروبة في وحدة التمعيل acceleration وهي المتر لكل ثانية تربيع (م/ث²) وتسمى هذه الوحدة بالنيوتن Newton أما وحدة الشغل Work فهي عبارة عن حاصل ضرب وحدة القوة force ووحدة الطول أي نيوتن - متر وتدعى بالجول Joule . وهي وحدة الطاقة نفسها . أما وحدة القدرة Power فتشتق من وحدة الطاقة Energy حيث أن القدرة هي معدل استهلاك الطاقة . لذا فإن وحدة القدرة تعادل وحدة الطاقة مقسومة على وحدة الزمن أي جول بالثانية وتدعى بالواط . Watt .

وهكذا يتبين أن اشتقاق وحدات لكميات ثانوية جديدة يتم بالاعتاد على الوحدات القياسية الأساسية أو على وحدات مشتقة منها .

بقي علينا أن نعرف وحدة الشحنة ويمكن أن نم ذلك بالاستناد إلى قانون كولوم الذي ينص على وجود قوة تنافر بين أي شحنتين متساويتين موضوعتين بالقرب من بعضهما البعض . فإذا وضعت شحنتان متساويتان بحيث كانت المسافة بينهما متراً واحداً وأدى ذلك إلى وجود قوة تنافر بينهما تعادل 10^{-7} C^2 نيوتن حيث C ترمز إلى سرعة الضوء والتي تساوي 2.997925×10^8 متر بالثانية . فإن كلاً من الشحنتين تعادل كولوماً واحداً وقد وجد أن الكولوم الواحد يحوي 6.24×10^{18} الكترونات ومن ذلك يمكن تعريف الأمبير على أنه عبارة عن كولوم بالثانية .

وبإمكاننا المضي في اشتقاق وحدات الكميات الكهربائية الأخرى بالأسلوب نفسه . فوحدة فوق الجهد أو القوة الدافعة الكهربائية بين نقطتين هي الفولت Volt الذي هو عبارة عن جول لكل كولوم . نظراً لأن فرق الجهد بين النقطتين هو عبارة عن الطاقة اللازمة لنقل كولوم واحد من الشحنة بينهما .

يبين الجدول 1.2 رموزاً للوحدات الأساسية وبعض الوحدات المشتقة منها مع العلاقات بينهما . كما يبين الجدول (1.3) إلى الرموز الكهربائية والالكترونية المستخدمة في القياسات والخرائط الكهربائية .

1.3 طبيعة قياس الكميات الكهربائية :

إن عملية القياس في الحقيقة هي لإيجاد قيمة لكمية فيزيائية معينة نسبة إلى كمية أخرى . فمثلاً يمكن قياس التيارات في دائرة كهربائية لمعرفة نسبة كل منها إلى الآخر . وفي حالات أخرى قد يكون الهدف إيجاد الكمية الحقيقية بالمعنى الفيزيائي للتيار مثلاً . أو أن تكون القيمة نسبة إلى مقدار ثابت كما في حالة قياس المسافات بالمتر أو التيار بالأمبير والفولتية بالفولت

وبلاحظ أن الاستخدام العام للأسس المتباينة في المقارنة يؤدي إلى صعوبة التمييز بين القياسات المختلفة بسبب ضرورة تبادل وإبصال المعلومات والآراء إلى أشخاص آخرين قد لا يعلموا الأساس الذي تم أخذه عند القياس ليتمكنوا من فهمها يجب أن يعلم ماذا تعبر عنه هذه القياسات لتصبح مفهومة ويمكن الاستفادة منها في الأغراض المختلفة . وإنما بحق الصعوبة الأساسية التي تواجه كل أنواع القياس وتطوراتها المستمرة . لذلك فقد تم الاتفاق دولياً على وحدات قياسه دولية يمكن تمييز كافة الكميات الكهربائية بموجها وعليه تعد وحدة القياس

الجدول 1.2
قائمة المصطلحات والرموز وتختصرات الوحدات

المصطلح بالعربية	المصطلح بالانكليزية	الرمز	الوحدة
التسارع الخطي	Acceleration, linear	a	m/s^2
المسارية	Admittance	Y	S
المساحة	Area	A	m^2
السعة	Capacitance	C	F
الشحنة	Charge	Q	C
الموصلية	Conductance	G	S
الموصلية	Conductivity	γ (gamma)	S/m
التيار	Current	I	A
الكثافة السطحية للتيار	Current surface density	A	A/m, A/m
الكفاءة	Efficiency	η (eta)	-
سدة المجال الكهربائي	Electric field strength	E	V/m
التدفق الكهربائي	Electric flux	Q	C
كثافة التدفق الكهربائي	Electric flux density	D	C/m^2
الجهد الكهربائي	Electric potential	V	V
القوة الدافعة الكهربائية	Electromotive force	E	V
الطاقة	Energy	W	V
القوة	Force	F, f	N
عامل الشكل	Form factor	k	-
التردد	Frequency	f	Hz
التردد الزاوي	Frequency, angular	ω (omega)	rad/s
تردد الرنين	Frequency, resonant	f_r	Hz
الكسب	Gain	G	-
الحثية	Inductance	L	H
الحثية المتبادلة	Inductance, mutual	M	H
الممانعة	Impedance	Z	Ω (omega)
عامل التسرب	Leakage factor	σ (sigma)	-
الطول	Length	l	m
الكتلة	Mass	m	kg
سدة المجال المغناطيسي	Magnetic field strength	H	A/m

تابع جدول (1-2)

Wb	● (phi)	Magnetic flux	التدفق المغناطيسي
T	B	Magnetic flux density	كثافة التدفق المغناطيسي
Wb t	Ψ (psi)	Magnetic flux linkage	وصلية التدفق المغناطيسي
			فرق الجهد المغناطيسي
At	F	Magnetic potential difference	
At	■	Magnetomotive force	القوة الدافعة المغناطيسية
s	T	Period	الفترة
H/m	μ(mu)	Permeability	الانفاذية
H	A(lambda)	Permeance	لنافذة
F/m	ε (epsilon)	Permittivity	الساحية
rad	● (phi)	Phase angle	زاوية الطور
W	P	Power, active	القدرة الفعالة
VA	S	Power, apparent	القدرة الظاهرية
var	Q	Power, reactive	القدرة المتفاعلة
Ω (omega)	Xc	Reactance, capacitive	مفاعلة سمية
Ω (omega)	X	Reactive, inductive	مفاعلة حثية
/H أو At/Wb	S	Reluctance	المالوفة
Ω (omega)	R	Resistance	المقاومة
Ω m	ρ(rho)	Resistivity	المقاومية
-	β (beta)	Stacking factor	عامل الرص
S	■	Susceptance	التقبلية
K	α.(alpha)	Temperature coefficient	معامل درجة الحرارة
C	θ theta	Temperature difference	فرق درجة الحرارة
s	t	Time	الوقت - الزمن
Nm	T,M	Torque	العزم
rad	λ(lambda)	Torque angle	زاوية العزم
J	W	Work	الشغل
rad/s, rev/s	ω (omega), n	Velocity, angular	السرعة الزاوية
m/s	v	Velocity linear	السرعة الخطية
m ³	V	Volume	الحجم

الجدول 1.3
الرموز الكهربائية والالكترونية
المستخدمة في القياسات الكهربائية



مقاومة



مقاومة متغيرة



مجزء الجهد



مقاومة متغيرة (ريوستات)



ملف (محث)



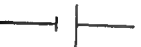
ملف ذو قلب حديدي



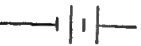
متعة



متعة متغيرة



خلية



مركب او بطارية



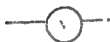
مفتاح كهربائي



مفتاح عاكس



أميتر



فولتميتر



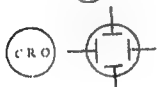
كالفانومتر



مولد الموجات الجيبية



مولد الموجات المربعة



راسم ذبذبات الاشعة المهبطية



مصباح النيون

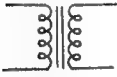


مصباح التنكست

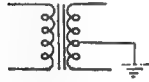
محولة



محولة ذات قلب حديدي



محولة ذات توصيل مركزي



مؤرض موصول بالارض



تقاطع سلكين متصلين



تقاطع سلكين غير متصلين



ساعة اذن



صمام ثنائي مفرغ ذو تسخين مباشر



صمام ثنائي مفرغ ذو تسخين غير مباشر



صمام ثلاثي مفرغ





ثنائي بلوري



ثنائي زنر



ترانزستور (NPN)



ترانزستور (PNP)



ترانزستور تأثير المجال (قناة N)



ترانزستور تأثير المجال (قناة P)



بوابة مع



بوابة مع ليس



بوابة ليس مع



بوابة او



بوابة ليس

العالمية والمتفق عليها هي المرجع عند الحاجة لأجل المعايرة أو تدقيق أجهزة القياس والتأكد من صلاحيتها للعمل والقراءة الصحيحة . كانت الوحدات القياسية الكهربائية قبل عام ١٩٤٨ تعتمد على الوحدات العالمية للقياس فمثلاً الاوم الواحد هو مقاومة عمود من الزئبق ذي مواصفات محددة والامبير كان يعتمد على كمية الترسب في محلول نترات الفضة والفولت على فرق الجهد في خلية الكادميوم وهذه الوحدات هي تطوير لمفاهيم سابقة فمثلاً الاوم كان مقاومة ملف سلكه من سبيكة الفضة والبلاتين والفولت الواحد كان فرق الجهد لخلية الزنك وهكذا والخلاصة فإن التطور الذي حصل في الكميات القياسية يهدف الى ايجاد كميات يسهل الحصول عليها لفرض التعبير والمقارنة لذا تم استخدام سلك المقاومة وخلية الكادميوم لفرق الجهد وعليه فإن الكميات التي تقارن معها لاغراض القياسات الكهربائية تحفظ بشكل يجعل قيمتها ثابتة باختلاف الظروف .

1.4 فن القياس :

القياس فن قبل كل شيء ويمكن ان يتبع اكثر من اسلوب للحصول على النتيجة نفسها ويعتمد ذلك على الخبرة والفطنة في الاداء ويمكن بذلك تجاوز كثير من الصعوبات التي تواجه عملية القياس خاصة للكميات الكهربائية التي تتطلب فيها اسعاً وتصرفاً آتياً حسب الظروف ومتطلبات القياس .

لا يخفى على احد بأن أجهزة القياس تعين الانسان على تحس الكميات الكهربائية المطلوب قياسها وقبل عملية القياس يشترط على من يقيس ان تكون لديه فكرة واضحة عن القيم المتوقعة وربما يحتاج الى اجراء بعض التحليلات الرياضية والاجراءات الاخرى في الدائرة الكهربائية قبل البدء بالقياس او بعده للتأكد من صحة النتائج التي حصل عليها .

ومها تكن دقة المقياس فلا بد من ان يكون هناك خطأ نسبي في القياس وتحليلات معينة ودراسة لخواص الجهاز ومواصفاته ومواصفات الدائرة الكهربائية يمكن ايجاد قيمة الخطأ وتصحيح القراءات بموجبها واعطاء النتيجة الحقيقية والواقعية للقراءة المطلوب معرفتها وتعتمد الخبرة في القياس أساس النجاح في القياس الصحيح . فإن اختيار الطريقة الصحيحة للقياس بموجب الدقة اللازمة والاجهزة المتيسرة والكلفة والزمن المطلوب للقياس والمهارة التي يمتلكها الشخص الذي يقوم بالقياس كلها عوامل تساعد على الحصول على القياس الصحيح فضلاً عن التحليلات الرياضية اللازمة قبل وبعد القياس .

يحتاج رجل القياس الى مهارة متميزة لاكتشاف نقاط الصعف في الدائرة والتغلب عليها وإيجاد اخطاء الربط ومعالجتها فضلاً عن التغلب على المشاكل الفنية الاخرى التي تنتج عن التأثيرات الجانبية على الدائرة وبعض الطواهر الفيزيائية الاخرى التي قد تؤثر على دقة القياس وفوق كل هذا وذاك يجب ان لاننس تحوطات الامان والوقاية من الصدمة الكهربائية لحياة أنفسنا وكذلك اختيار الربط المناسب حسب نوع الجهاز واختيار التدريع الصحيح قبل تسليط التيار على الدائرة لحياة الاجهزة والدائرة من العطب والتي قد تكلف في كثير من الاحيان مبالغ طائلة لاسباب بسيطة بنكلها الظاهري لكنها خطيرة بنتائجها وعواقبها .

أخطاء القياس

2.0 مقدمة :

ما دمنا نستخدم اجهزة لاجل القياس ولعلمنا بعدم وجود جهاز مثالي للقياس . نستدل بأن القياسات مهما كانت لا تخلو من اخطاء . هذا وإن الذين يعملون في المختبرات ويحصلون على القراءات المختلفة خاصة للقياسات الدقيقة يعرفون مسبقاً اخطاء قراءاتهم الا ان الخبرة الطويلة والممارسة تجعلهم يتغلبون على بعض هذه المضائل التي يعالجونها بأساليب مختلفة منها كاختيار نوع الجهاز أو طريقة الربط أو بعد اجراء بعض الحسابات الأولية والدراسة النظرية وعلى أبة حال يجب على من يجري القياس ان يميز ظروف التجربة والقراءة التي يقوم بأخذها ولا نبالي اذا قلنا ان تحصيل القراءة الجيدة فن ومهارة وخبرة لا تموض .

وستتطرق في دراستنا لاططاء القياس الى أمرين هامين اولهما كيف يمكن تقليل الاخطاء . وثانيهما لتعلم كيف يمكن الاستفادة من النتائج واستنباط الارقام الحقيقية منها .

2.1 تعاريف مهمة :

هناك عدد من المصطلحات الضرورية والتي سيتكرر ذكرها في هذا الفصل سنقوم بتعريفها وشرحها أولاً وهي :

الخطأ :

ونعني به خطأ القراءة في القياس لأنه وكما نعلم لا تخلو اي قراءة من الخطأ وتدخل الرياضيات والاحضاء في تكوين معادلات وقوانين خاصة بالاختفاء . والخطأ هو تقدير لقيمة الشك في القراءة . او فرق القيمة الحقيقية عن القيمة المقاسة .

جهاز القياس :

هو الاداة المستخدمة لاجاد قيمة لكمية او لمتغير كهربائي او غير ذلك .

القياس المتقن Accuracy

وهو قرب قراءة الجهاز من القيمة الحقيقية للكمية المقاسة .

القياس المضبوط Precision

وهو درجة تقارب القياسات المختلفة .

دقة القياس Resolution

وهو اقل تغير في الكمية المقاسة يمكن ان يتحسها الجهاز لاجل التمييز بين القياس المضبوط والقياس المتقن ولا بد لنا من ابضاح المعنى خاصة في مجال القياس ، فيقال عن الجهاز ذي قياس مضبوط اي تكون تاثيرات القياس فيه واضحة وتقسيات التدرج دقيقة وجيدة واما الجهاز ذو القياس المتقن فبسبب تكوينه الداخلي او لوجود اضافات خاصة يسهل اخذ القراءة منه مثل المرآة المضافة الى التدرج للتأكد من تطابق المؤشر مع صورته في المرآة اثناء النظر الى القراءة وكما هو عليه الحال في معظم المقاييس المختبرية .

واخيراً يمكن ان يكون القياس مضبوطاً لمقياس معين ولكن بسبب عدم اجراء التصغير او خطأ اختيار التدرج نحصل على قياس غير متقن .

2.2 تصنيف الاخطاء :

لكون الاخطاء تنشأ من مصادر متعددة فإن طرائق تصنيفها متعددة ابصاً .
ويمكن تقسيم الاخطاء أساساً الى قسمين :

أ - الاخطاء النظامية : **Systematic Errors**
وهي التي يمكن تجنبها او تصحيحها وتنشأ من سوء القراءة او الخلل في الجهاز او تأثير البيئة عليه او سوء الاختيار في ربط التجربة او نوع المقياس .

ب - الاخطاء العشوائية : **Random Erross**
وهي الاخطاء التي لا يمكن السيطرة عليها على الرغم من زوال جميع الاخطاء النظامية الاخرى .
وتتشعب الاخطاء النظامية الى اربع شعب وهي :

1 - الاخطاء الاجمالية (او العامة) : **Gross Errors**
وسببها اخطاء القراءة وعدم التصغير وسوء اختيار الجهاز او التدريج او اخطاء الحسابات الرياضية عند تحليل القراءات او غير ذلك .

2 - اخطاء الجهاز : **Instrument Errors**
وسببها خلل الجهاز او تقصير معين في ادائه مثل خطأ اجراء التغير او خلل داخلي او تغير قيمة احد العناصر المكونة للجهاز او اي خلل او نقص في الجهاز او استهلاك احد اجزائه .

3 - اخطاء البيئة : **Enviromental Errors**
تشمل هذه الاخطاء التأثيرات الفيزيائية على التحربة أو جهاز القياس المستخدم أو القيمة المراد قياسها ومن هذه التأثيرات الحرارة والضغط والرطوبة والاضطرابات الطارئة وما شاكل ذلك .

4 - اخطاء اجراء القراءة : **measurment Errors**
وتتضمن عدم كفاءة القارئ أو ضعف التقديرات وبعض التصرفات الغريبة اثناء القراءة وأمور أخرى .

وأما الأخطاء المتخلفة فلا يمكن تجزئتها إلى شعب كما فعلنا في الأخطاء النظامية بسبب تباين مصادرها الكثيرة ومنها ما هو غير معروف تماماً . وهذه الأخطاء لا يمكن السيطرة عليها ولا يمكن تجنبها ولا تخضع لأية قاعدة أو أسلوب ثابت وغالباً ما يكون سببها تراكم مجموعة أمور ويمكن أن يكون بعضها معروفاً ولا يمكن تجزئتها عن مجموعة الأمور .

وفي كثير من الحالات لا يمكن تجنب الأخطاء المتخلفة ما لم يتم تبديل الكمية المراد قياسها وتدعى أحياناً بالأخطاء العشوائية .

وسنقوم فيما يلي بتفصيل أنواع الأخطاء مع الامثلة لايضاح المفهوم العملي لكل حالة .

2.2.1. الأخطاء الاجمالية (أو العامة) :

يعد هذا النوع من الخطأ في القياس أوضح الأنواع واسهلها للاكتشاف والتصحيح والعامل الأساس فيها هو الإنسان نفسه أو ظروف التجربة والربط .

ومن هذه الأخطاء هو اختلاف القراءة بسبب ربط الدائرة لفترة من الزمن أو بسبب تغيير أسلوب الربط وكمثال على ذلك التغير الذي يحصل في قيمة مقاومة معينة عند اختلاف قيمة التيار المار في المقاومة نفسها أو التغير الذي يحصل في القراءة نتيجة إضافة جهاز أو تغيير ربطه في الدائرة فالنسبة للحالة الأولى يمكن التغلب عليها وذلك بقياس المقاومة أكثر من طريقة واحدة وأما الحالة الثانية فيمكن في كثير من الحالات إهمال الفروقات الطفيفة أو استعصال أكثر من قراءة وأخذ معدنها .

نوع الثاني من الأخطاء الاجمالية ما يسمى بالخطأ النظري أي الأخطاء التي تحصل عند إجراء الحسابات وتطبيق المعادلات أو لدى استخدام معادلات ظروف تطبيقها لا يشابه ظروف التجربة نفسها .

وأما النوع الثالث من الأخطاء الاجمالية فبها الإهمال وعدم الاهتمام عند أخذ القراءة فالأخطاء التي تحصل من قراءة المقياس نسبة إلى تدرج غير التدرج الصحيح أو كأن يحصل الفرق في قراءة الكمية على المقياس وكتابة الرقم على دفتر الملاحظات مثلاً أنت تقرأ 73.4 فولت وزميلك يسجل 74.3 فولت . كذلك سجل هذا النوع من الخطأ عدم إجراء التصغير بعد تغيير التدرج أو

أن يقف القارئ بوضع منحرف لا يستطيع أخذ القراءة الصحيحة من مؤشر المقياس .

النوع الرابع هو سوء اختيار الجهاز كأن يستخدم جهاز خصص لترددات خارج المدى الذي صُمم من أجله أو أن يحتل بترددات فوق قدرته فينتج موجات مغايرة للشكل الجيبي الذي تنتجه وهكذا .

وأما النوع السادس من الأخطاء الاجالية فهو خطأ الحسابات وآلة الحساب مثل المسطرة الهندسية أو حاسبة الجيب المستخدمة ويجب اجراء التدقيق المستمر لتلافي هذا النوع من الخطأ .

نعود الان الى الخطأ النظري وهو النوع الثاني الذي سبق ذكره من انواع الأخطاء الاجالية لعرض مثال مختبري يوضح ذلك .

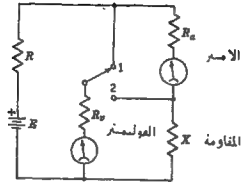
ففي تجربة الفولتميتر - أميتر المعروفة لقياس المقاومة فإذا كانت V الفولتية عبر المقاومة و I تيار المقاومة فإن قيمة المقاومة X هي :

$$X = \frac{V}{I} \dots (2.1)$$

هذه المعادلة صحيحة عندما تكون مقاومة مقياس الفولتية قيمة غير منتهية وقيمة مقاومة مقياس التيار صفرأ .

ولو طبقنا المعادلة (2.1) سوف نكون قد اخطأنا بسبب عدم تطابق الظروف النظرية للمعادلة مع الظروف العملية للتحربة . ولو اننا اهلنا مصادر الخطأ الاخرى الناجمة عن عدم تصغير الجهاز أو سخونة المقاومة .

يوضح الشكل 2.1 طريقين لربط الفولتميتر والأميتر واذا كانت الأجهزة مثالية فسوف لاختلف القراءة في الربطين ويمكن استخدام المعادلة النظرية بدون أي خطأ .



النكل 2.1 طريقة ربط الفولتميتر والأمير لقياس المقاومة

أ - الحالة الاولى المفتاح في الوضع 1 :

الأميتر بقرأ التيار المار في المقاومة X ولنفرض انه I_1 ، اما قراءة الفولتميتر فانها الفولتية عبر المقاومة X زانداً الفولتية عبر معاومة الاميتر عندها :

$$X_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{I_x (X + R_a)}{I_x} = X + R_a$$

وذلك على فرض ان $I_1 = I_x$

لذا فان النسبة المئوية للخطأ γ_1 في X_1 هي :

$$\gamma_1 = \frac{(X_1 - X)}{X} \cdot 100 = 100 \cdot \frac{R_a}{X} \quad (2.2)$$

وهذه القيمة موجبة لان قيمة المقاومة النظرية أكبر من القيمة الحقيقية .
واذا كانت $R_a = 0.1 \times X$ فان الخطأ يكون واحد بالمائة واما R_a فهي مقاومة الفولتميتر ولا يكون لها أي تأثير في هذا الربط .

ب - الحالة الثانية المفتاح في الوضع 2 :

مقرأ الفولتميتر الآن الفولتية الصحيحة عبر المقاومة X ولكن قراءة الاميتر سرزداد لأن المقباس سينقرأ تيار المقاومة زائداً تيار جهاز الفولتميتر فإذا فرصاً قيمة المقاومة في هذه الحالة X_2 وقراءة الفولتية V_2 والتيار I_2

$$X_2 = \frac{V_2}{I_2} = \frac{V_x}{I_x + V_x/R_v} = \frac{1}{1/X + 1/R_v} = \frac{X}{1 + X/R_v}$$

$$V_2 = V_x \cdot I_2 = I_x + V_2/R_v \text{ لأن}$$

لذا فإن نسبة الخطأ γ_2 في قراءة X_2 هي :

$$\gamma_2 = \frac{(X_2 - X) 100}{X} = \left(\frac{1}{1 + X/R_v} - 1 \right) 100 = - \frac{100}{1 + R_v/X}$$

وتكون هذه القيمة سالبة لأن القيمة النظرية للمقاومة X اقل من القيمة الحقيقية لهذا الربط ولأن قيمة التيار اكبر من القيمة الحقيقية لتيار المقاومة .

وكمثال اذا كانت $R_v = 100 X$ فإن $\gamma_2 = -1\%$ واما قيمة R_n فلم تدخل في الحسابات .

ويظهر هذا بأن قيمة المقاومة المقاسة تلعب دوراً مهماً في اختيار الربط المناسب فإذا كانت $(1 + R_v/X) > X/R_n$ يستخدم الربط الاول وخلاف ذلك يفضل الربط الثاني .

2.2.2 اخطاء الجهاز :

معظم طرق القياس تعتمد في عملها على تأشير مؤشر المقياس والذي يتحرك بصورة ميكانيكية نحو الرقم ومن ثم يُقرأ بالعين ويدل على قيمة القياس . وان أسلوب التأشير هذا يعرض القراءة للخطأ ولاغراض الدقة في النباس يحاول

بعض الباحثين استخدام اجهزة حديثة لا تعمل بطريقة الانحراف الميكانيكي للمؤشر مثل المقاييس الالكترونية الرقمية والتي سيتم شرحها في فصل آخر من هذا الكتاب . ومهما يكن من أمر فلا يمكن التخلّص نهائياً من اخطاء الاجهزة .

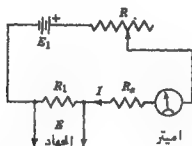
تكون معظم اخطاء الجهاز هي بسبب معايرة الجهاز والتي يجب اجراءها بين فترة واخرى بالمقارنة مع جهاز قياسي بسبب تغير قيم عناصر الدائرة الكهربائية مع الوقت .

كما تحصل اخطاء الاجهزة بسبب تعقيد الدائرة الكهربائية واعتداد معظم المقاييس على الحركات الميكانيكية ودوران بعض اجزائها وتعرضها للاستهلاك او تعرض بعض اجزائها للصدأ او احتكاك المؤشر مع زجاجة التدرج او ارتخاء النابض الميكانيكي او اختلاف قيم العناصر الكهربائية . ويجب على مستخدم الجهاز الانتباه الى اخطاء الجهاز ومعالجتها باجراء الصيانة المستمرة للجهاز .

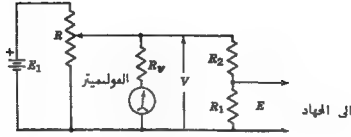
وفي هذه المناسبة سوف نتطرق الى طرق معايرة مقاييس التيار المنصر وتصحيح قراءاتها

أ - معايرة الاميتر بواسطة الجهد الكهربائي potentiometer

يعرف الجهد الكهربائي على انه جهاز يمكن بواسطته قراءة فولتيات واطئة بشكل مضبوط بحدود فولت واحد او اقل بدون مرور تيار في الجهاز وهو بعد بذلك مقياس فولتية ذو مقاومة عالية جداً تقترب من اللانهاية اي فولتميتير مثالي :



الكل 2.2 دائرة معايرة الاميتر بواسطة الجهد الكهربائي



الشكل 2.3 دائرة معايرة الفولتميتر بواسطة المهّاد الكهربائي

يستخدم الربط في الشكل 2.2 المعايرة الامتريز تمثل R_1 مقاومة قياسية معلومة بصورة مضبوطة وتحمل قياس الامتري لاصفي ندرج ، وتمثل E الفولتية عبر R_1 يتم قياسها بالمجهّاد الكهربائي من دون مرور تيار في المجهّاد الكهربائي لذا فإن تيار الامتري I يكون :

$$I = \frac{E}{R_1} \quad \text{--- (2.2)}$$

حيث ان كلا من E ، R_1 معروفة بصورة مضبوطة . وإن المقاومة المتغيرة R ننظم لنحصل على قراءات تيار مختلفة ونقارن قراءة القياس مع القيمة الحاسبية للقراءة حسب المعادلة (2.2) السابقة .

ب - معايرة الفولتميتر بواسطة المجهّاد الكهربائي :

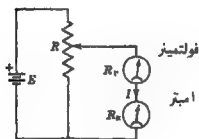
لاجل معايرة الفولتميتر يستخدم الربط الموضح في الشكل 2.3 اذ تستخدم المقاومات R_1 ، R_2 لتقييم الفولتية حيث تصبح ضمن مدى تحمل المجهّاد الكهربائي وعليه فإن الفولتية V عبر الفولتميتر تصبح :

$$V = \frac{(R_1 + R_2) E}{R_1} = (1 + \frac{R_2}{R_1}) E \dots (2.3)$$

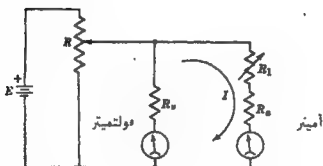
لذا فإذا علمنا النسبة R_1 / R_2 نستطيع حساب V بشكل مضبوط .
ويمكن الحصول على قيم V مختلفة بواسطة تغيير المقاومة R وتقارن النتيجة مع قراءة الجهاز .

جـ - المعايرة بطريقة الفولتميتر - الاميتر :

يمكن معايرة كل من جهازى الفولتميتر والاميتر بهذه الطريقة ولنفرض معايرة الفولتميتر تستخدم دائرة الشكل 2-4 ولمعايرة الاميتر تستخدم دائره الشكل 2.5 , حيث تكون مقاومة الفولتميتر في الحالة الاولى معلومة ونقرأ الاميتر القيمة الصحيحة للتيار .



الشكل 2.4
معايرة الفولتميتر



الشكل 2.5
معايرة الاميتر

لذا تكون الفولتية V عبر الفولتميتر $V = IR_v$ وأن $I \cdot R_v$ معروفة ويمكن إيجاد V ومقارنتها بالقراءة .

وبشكل منظر يستخدم فولتميتر يقرأ بصورة صحيحة مع اميتر مقاومته الداخلية معروفة اذ تكون قيمة V هي الفولتية عبر الفولتميتر من الشكل

(2.4) ويمكن حسابها من العلاقة $V = I (R_1 + R_2)$ وعادة تكون R_2 صغيرة جداً نسبة إلى R_1 ويمكن إهمالها. ويتكرر عملية القياس نحصل على قراءات متعددة بتغيير قيمة R وذلك للحصول على قراءات تتناسب وتدرج الفولتميتر بأكمله.

ويمكن استخدام دائرة الشكل نفسها وذلك بتثبيت قيمة I وتغيير R_1 ونترك تفاصيل هذه التجربة للطالب ويطلب منه الإجابة على مايلي :

- ١ - ماهو تأثير المقاومة R في هذه الحالة؟ هل تتغير أم تكون ثابتة.
- ٢ - كيف يمكن فحص قراءة تدرج التيار لأكثر من نقطة واحدة؟.

2.2.3 اخطاء البيئة :

تؤثر ظروف البيئة تأثيراً ملموساً على القياسات كتأثيرها على الانسان ففي الجو الحار والرطب وتحت تأثير الاهتزاز والضغط الجوي او تغير المصدر يكون قاريء المقياس أقل صبراً للانتظار وكذلك فإن خواص الجهاز نفسه قد تتغير تحت هذه الظروف.

ويؤثر الليل والنهار على بعض القياسات اذا كان المكان مختبراً او معملًا. علماً بأن اختلاف القراءات لا يكون ثابتاً وان القضاء على الاختلاف ليس من الامور الهينة الا ان هناك عدد من الاجراءات التي يمكن اتباعها للتقليل من تأثيرات البيئة مثل استخدام نهايات الربط المغلقة لمنع تأثير المجالات الخارجية كما ان مكونات الدائرة الكهربائية للجهاز تصنع بحيث تتحمل الحرارة والاهتزاز الميكانيكي ويمكن استخدام التبريد بالطرق المناسبة أو عزل الجهاز بالحواجز المعدنية لمنع هذه التأثيرات. هذا وان اهم التأثيرات البيئية الحرارة والرطوبة، فضلاً عن المجالات الكهرومغناطيسية التي تنتج من بعض الاجهزة.

2.2.4 اخطاء اجراء القراءة :

سبب هذا النوع من الاخطاء هو بعض العادات التي اعتاد عليها قاريء المقياس واسلوب تقديراته لاجراء القراءات علماً بأن الخبرة الطويلة والقراءة السريعة أو البطيئة جداً أو القراءة بالنظر وبصورة غير صحيحة الى المؤشر أو

فقدان الصبر . كذلك تـأشـيرات التدرـيج وحـجم المؤثر وتـزامـح الارقام على التدرـيج ووضـوح التدرـيج للناظر أيضاً تعد من اخطاء القراءة . ويمكن التغلب على معظم هذه الاخطاء باجراء تصاميم جديدة وادخال تكنولوجيا متطورة الفرض منها ابعاد احتمالات هذه الاخطاء والاستفادة من تغيير التدريجات بشكل ذاتي وأخذ القراءة من شاشة صغيرة بشكل رقمي .

2.2.5 الاخطاء المتخلفة : Residual Error

هناك اخطاء لا بد من تخلفها رغم اكتشاف ومعالجة الاخطاء المعروفة وتدعى أحياناً بالاطـاء العشوائية او غير المقصودة او غير المتوقعة ومصدرها مرتبط مع الكمية المراد قياسها او الجهاز نفسه .

ويمكن ان تحصل نتيجة تجمع عدد من العوامل منها عوامل مرتبطة بتركيب مكونات الدائرة الكهربائية للجهاز او تغير خصائص بعض اجزاء الجهاز ومن المعروف أن سمعة بعض الشركات لانتاج نوع معين من المقاييس أفضل من الانواع الاخرى في الاداء هو احد الاسباب في تفسير هذا النوع من الاخطاء ومعالجته على الرغم من أن طريقة العمل مشابهة . وأخيراً فإن اجراء عدد من القراءات هو أفضل السبل للتغلب على احتمالات الاخطاء والتحليل الاحصائي يمكن إيجاد نسب الاخطاء منها كان سببها .

2.3 طرق تجنب الاخطاء :

هناك عدد من الطرق والاساليب التي تساعد على اجتناب الاخطاء منها :

أ - استيعاب القياس :

على من يقوم بالقياس ان يعلم خصائص ومحددات والاداء الاعتيادي للجهاز وان يلم بمجلفية نظرية كافية لهم مشاكل القياس . وكذلك يجب أن يكون قادراً على إيجاد طرق بديلة وان يستخدم الرياضيات وان يلم بالفهم النظرية المتوقعة لمقارنتها مع القراءة الفعلية .

2 - اسلوب القراءة :

على من يقوم بالقياس اختيار الجهاز المناسب وابداله او فحصه عند الشعور برداءة القراءة او ايجاد دوائر ربط بديلة لاجداد القراءة نفسها وان تتعامل مع الاجهزة وكأنه يتفاهم معها ويدلم عنها الكثير وفسر بعض الظواهر والمزايا تميراً تقنياً ذا عمق علمي وخبرة واسعة .

3 - الثقة بالنفس :

يجب على من يقوم بالفراءة أن يخطط لطريقة العمل والفراءة وأن يعمل بعناية وهدوء وتسجيل القيم مباشرة وبصورة منتظمة وتسجيل القراءات الشاذة او الظواهر السلبية والغريبة لفرض العودة إليها عند الحاجة .

2.4 التحليل الاحصائي :

يعد التحليل الاحصائي للقراءات من المواضيع الاساسية في القياسات حيث يمكن فرز القيم الجيدة من القراءات المسجلة بشكل متواصل ومن دون اعتاد بعضها على البعض الآخر ويمكننا كذلك بالتحليل الاحصائي اجراء التحليلات لاجداد القيمة النهائية وكذلك يمكن دراسة تأثير الاخطاء في القراءات ويمكن التنبؤ عن القيمة الصحيحة لذا فلا بد من التعرف على بعض المصطلحات الاحصائية علماً بأن الاحصاء وعلم قائم بذاته .

لاجل القيام بالتحليل الاحصائي لابد من الحصول على القراءات وكذلك يجب ان تكون الاخطاء النظامية صغيرة بالمقارنة مع الاخطاء المختلفة .

أ - قيمة المعدل :

إذا كانت V_1, V_2, \dots, V_n مجموعة من عدد n من القراءات فإن الرمز V_i (حيث $i = 1, 2, \dots, n$) يستخدم في معادلة قيمة المعدل حيث

$$\bar{N} = \frac{1}{n} (V_1 + V_2 + \dots V_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.4)$$

ب - الانحرافات عن قيمة المعدل :

لو اعتبرنا V عدد اعتباطي فإن انحراف المتغير V_1 عن قيمة V يكون $y_1 = V_1 - V$ وعليه يكون

$$y_1 = V_1 - V, y_2 = V_2 - V, \dots, y_n = V_n - V$$

وإن مجموع عدد n من الانحرافات يصبح

$$y_1 + y_2 + \dots + y_n = \sum_{i=1}^n y_i = (V_1 + V_2 + \dots + V_n) - nV$$

وإذا كان مجموع الانحرافات السالبة والموجبة صفراً فإن

$$0 = (V_1 + V_2 + \dots + V_n) - nV$$

وإن قيمة V الناتجة تكون :

$$V = \frac{1}{n} (V_1 + V_2 + \dots + V_n) = \bar{V}$$

وهذا يعني بأن قيمة المعدل هو العدد الذي مجموع الانحرافات فيه صفراً أو أنه أحسن قيمة حولها الانحرافات الموجبة والسالبة المحتمل حدوثها تساوي صفراً .

وإن تعريف الانحراف عن المعدل مَعرَّف بالمعادلة الآتية :

$$x_i = V_i - \bar{V} \dots\dots\dots (2.5)$$

وبما ان مجموع الانحرافات حول قيمة المعدل تساوي صفراً فإن :

$$\sum_{i=1}^n x_i = 0 \quad (2.6)$$

وهناك وجهة نظر أخرى في تعريف وتفسير الانحراف عن المعدل تستند على قيمة مربع الانحراف والنتيجة تعطي قيمة افضل وتعد من الناحية الاحصائية اقرب للواقع وذلك باخذ معدل مربعات الانحرافات ثم إيجاد جذرها . وتستخدم نظرية المربعات المربعة لتحديد المنحنيات بمعرفة عدد من النقاط او القيم حيث يشترط ان يكون مجموع مربعات الانحرافات بين المنحني والنقاط المعطاة اقل ما يمكن .

يمكن برهنة ذلك بأخذ الانحراف عن أي رقم V والبحث عن قيمة V التي تؤول الى اقل مجموعة لمربعات الانحرافات .

افرض انحراف المتغير V_1 عن القيمة V يرمز له y_1 حيث $y_1 = V_1 - V$ وإن مربع الانحراف هو :

$$y_1^2 = (V_1 - V)^2 = V_1^2 - 2V_1 V + V^2$$

فـ :

وإن مجموع المربعات S لعدد n من المتغيرات هو :

$$S = \sum_{i=1}^n y_i^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2 - 2V \sum_{i=1}^n V_i + n V^2$$

والآن لنفرض ان V متغيرة ونوجد قيمة V التي تجعل S اقل ما يمكن بأخذ تفاضل S مساواتها للصفر اي $\frac{ds}{dv} = 0$ وبما ان كل قيم V_1 ثابتة :

$$\frac{ds}{dv} = 2 \sum_{i=1}^n V_i + 2n V = 0$$

ولايجاد V لاقل مجموع مربعات الانحرافات :

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i = \bar{v}$$

وبسبب هذه الخاصية لقيمة المعدل يمكن ان تعتبر القيمة الاكثر احتمالاً ويجب التأكيد بأن هذه الخصائص لقيمة المعدل المستندة في علاقتها بالانحراف لا تتضمن اعتداد قيمة المعدل كاحسن قيمة قياس . ولكن يمكن استخدامها لاي قيمة n ولكل اشكال توزيع القراءات .

الانحراف القياسي :

يمكن تعريف الانحراف القياسي على انه قيمة الجذر التربيعي لمعدل مربع الانحرافات عن المعدل والتعبير الرياضي لذلك .

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

ويلاحظ من المعادلة بأن الانحراف القياسي ذو قيمة اكبر من معدل الانحراف وكذلك عن قيمة الخطأ المحتمل P بسبب زوال اشارة السالب باستخدام مربع الانحرافات ولذا تعد اكثر تحفظ في الحساب .

إن الانحراف القياسي يعتبر قيمة جذر معدل التربيع والمعروفة لدى مهندس الكهرباء عند استخدامها للتيار والفولتية المتناوبة .

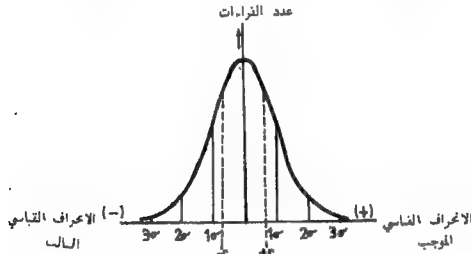
فاذا كانت $n \geq 1$ فإن الانحراف القياسي سيكون مساو لقيمة جذر معدل التربيع عند استبدال $n-1$ بـ n في المعادلة . وحتى وإن كانت n صغيرة 25 مثلاً فإن قيمة ج.م. ت الانحراف تكون اقل من قيمة الانحراف القياسي بمقدار 2% ولهذا السبب فإن قيمة ج.م. ت الانحراف تؤخذ على أنها قيمة الانحراف

القياسي . وعلى العموم يفضل استخدام معادلة σ لقيم n الصغيرة لان قيمة σ فيها تحفظ اكثر . ويمكن تعليل سبب استخدام العامل $n-1$ بدلاً من n لان \bar{v} تعتمد على n مثلاً اذا كانت $n = 2$ فإنه يجب حساب المعدل لأحرفين ولكون الانحرافات متساويين بالقيمة لذا فهناك انحراف غير معتمد واحد لـ $n = 2$. ولدى توسيع الكلام في هذا المجال يظهر بأن هناك $n - 1$ من الانحرافات غير المعتمدة لعدد n من القراءات . وهذا هو تعليل استخدام $n - 1$ بدلاً من n فضلاً عن سبب احصائي آخر سوف لا يتم التطرق اليه هنا .

واخيراً من المفيد الاشارة الى ان الانحراف القياسي ستخدم بكثرة في الاستخدامات العلمية كافة ولو ان التطبيقات الهندسية لما نظرة مغالفة للامور الاحصائية في هذا المجال .

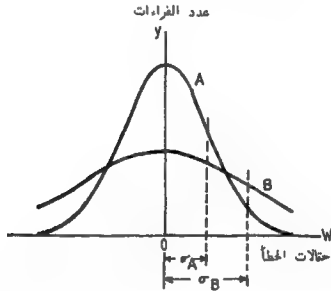
2.5 احتمالات الخطأ :

لو سجلنا عدد كبير من القراءات للفولتية او التيار لمقياس ما وفي فترات زمنية متساوية وقصيرة وقمنا برسم خط بياني لذلك بحيث ان المحور العمودي يمثل عدد القراءات والمحور الافقي يمثل القراءة نفسها لوجدنا ان اكبر عدد من القراءات يكون للاخطاء الصغيرة وقل عدد من القراءات يكون للاخطاء الكبيرة ويكون الشكل العام للمنحنى بهيئة جرس كما موضح ادناه .



الشكل 2.5 منحنى بين احتمالات الخطأ . حيث المساحة المظلمة توضح احتمالات الخطأ ويكون الاخطاء اقل للقراءات الكبيرة وإن قيمة $r = \pm 0.6745$ (الخطأ المحتمل)

ولا بد ان نذكر في هذا المجال بأن الشكل العام للمنحني يتغير حسب دقة المقياس فيكون شكل الجرس واسعاً والمساحة تحت المنحني كبيرة عندما تكون الدقة قليلة وعلى العكس من ذلك فإن الجرس يكون ضيقاً والمساحة تحت المنحني قليلة عندما تكون القراءات أكثر دقة وكما مبين في الشكل ادناه :



الشكل 2.6 مقارنة منحني توزيع الاحطاء وملاحظ انه للبراءات الكثيرة يصبح الدقة أكبر ونسبة الخطأ أقل كما في A وأن التنت أكثر لعدد القراءات القليلة كما في B .

2.6 مسائل :

- 1 - ما هو الخطأ في القياس ولماذا وكيف يحدث ؟
- 2 - عدد ارمية مصادر للاخطاء المحتملة في اجهزة القياس .
- 3 - ما عدد الارقام المميزة في الكميات الآتية 10.3 ، 15 ، 0.005 ، π ؟
- 4 - اذا سلط فرق مقداره 2.15 فولت على مقاومة مجهولة وكانت شدة التيار المقاسة ملي امبير . فما هو مقدار الخطأ المتوقع في الحالات الآتية :

- أ - عند قياس فرق الجهد .
ب - عند قياس شدة التيار .
ج - عند حساب المقاومة .

5 - قرب الكميات الآتية الى ثلاثة ارقام مميزة :

أ - 8.346

ب - 0.98469

ج - 10.457

د - النسبة الثابتة

- 6 - هل يمكننا الحصول على قياسات دقيقة غير مضبوطة او بالعكس؟
7 - فولتميتر بقرأ $0-100\text{ V}$ يحوي 200 تقسيم على تدريجه والتي يمكن أن تقرأ لحد نصف تقسيم . ماهي أقل قراءة للمقياس بالفولت .
8 - فولتميتر رقمي مدى القراءة فيه من صفر الى 9999 رقم . احسب أقل قراءة للمقياس بالفولت اذا كانت قراءه تدريج كامل 9.999 فولت .
9 - القيمة الاسمية لمقاومة 100Ω قبست 60 مرة بطرؤف متشابهة وحصلنا على مايلي :

قبة القراءة	عدد المرات
993	0
994	1
995	2
996	3
997	4
998	5
999	6
1000	7
1001	8
1002	9
1003	10
1004	11
1005	12
1006	13

- أ - اوجد قيمة المعدل .
ب - قيمة الانحراف القياسي .
ج - مانبة القراءات . الكائنة ضمن 2 بالمائة من قبة الانحراف القياسي للمعدل .
10 - قس الميوط بالفولت 112.5 عبر المقاوم الذي يمر فيه تيار 1.62 أميتر احسب القدرة المستهلكة في المقاومة . اعط الارقام المميزة فقط في الاجابة .

11 - حصلنا على القيم الآتية من قياسات لمقاومة 147.2 ، 147.4 ، 147.9 ، 148.1 ، 147.1 ، 147.5 ، 147.6 ، 147.4 ، 147.6 ، 147.5 واخيراً 147.5

اوم احسب :

أ - المعدل الرباضي .

ب - معدل الانحراف .

ج - الانحراف القياسي .

12 - احسب عامل القدرة وزاوية الطور في دائرة تحمل تيار جيبي من قياس التيار والفولتية والقدرة . كانت قراءة التيار 2.5 امبير على مقياس تدريجه 5 امبير وقراءة الفولتية 200 فولت على مقياس تدريجه 250 فولت والقدرة 220 واط على مقياس تدريجه 500 واط . الاميتر والفولتميتر مضمونان لحد $\pm 1\%$ من قراءة أعلى تدريج وكذلك الواطميتر احسب ————— النسبة المئوية لدقة القراءات المقاسة .

تحليل الدوائر الكهربائية

3.1 مقدمة

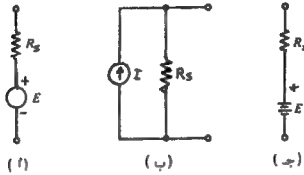
إن الغاية من هذا الفصل هو اعطاء ملخص عن النظريات والدوائر الكهربائية التي تشكل الأساس في علم القياسات فضلاً عن كونه مرجعاً سهلاً للطلبة عند الحاجة الى أي نقطة فيه وكذلك للتعرف الى المصطلحات الكهربائية التي سترد في ثنايا الكتاب. أما تفاصيل هذه الموضوعات فيمكن الرجوع اليها في الكتب الخاصة بالدوائر الكهربائية وتحليلاتها.

3.2 تمثيل المصادر :

يمكن تمثيل مصادر الفولتية او التيار التي تجهز الدائرة ، كمناسير للدائرة ، ويجب ان تميز بصورة منفصلة عن الدائرة نفسها . ويستخدم بصورة عامة تمثيلان للمصادر المثالية ها :

الدائرة المكافئة للفولتية الثابتة . الشكل 3.1 (أ) والدائرة المكافئة للتيار الثابت ، الشكل 3.1 (ب) . وفي كلتا الحالتين ، تمثل R المقاومة الداخلية للمصدر ، وتمثل \mathcal{E} في دائرة الفولتية القوة الدافعة الكهربائية ق . د . ك المتولدة ، وتكون مقاومة \mathcal{E} مساوية للصفر . تكون \mathcal{E} ثابتة اي ، غير معتمدة على الحمل المسلط على النهايات ، وربما تتغير مع الزمن . اما في دائرة التيار ، فيمثل \mathcal{I} التيار المتولد ، وتكون مقاومة فرع المولد قيمة غير متناهية . يكون

التيار ثابتاً ، اي غير معتمد على التحميل الخارجي . وربما بتغير في الطبع مع تغير الزمن كذلك .



النكل 3.1 يمثل المصادر

(أ) الفولتية (ب) التيار (ج) البطارية

يمكن تمثيل اي مصدر معطي بأحدى الدوائر هذه أي . هناك طرق مختلفة للنظر الى المصدر نفسه . اما اختيار الدائرة المكافئة التي تستخدم فتكون قضية تفضيل شخصي . وعلى الرغم من كون المصدر الفيزيائي هو الافضل ، وتعتبر البطارية مثال جيد لتلك التي وضعت في النكل 3.1 (ج) .

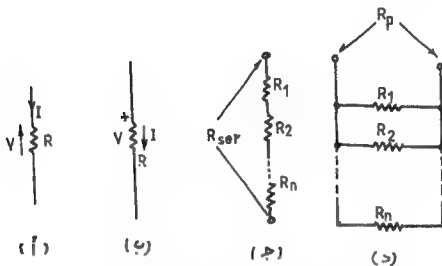
3.3 ملخص لشبكات المقاومة :

ينتج من تسليط فولتية V (ربما تتغير مع الزمن) على مقاومة ثابتة مرور تيار I المعطى بقانون اوم :

$$V = I.R \text{(3.1)}$$

واصطلاحاً . يتل التيار والفولتية باسمهم كما موضح في الشكل 3.2 (أ) ، اذ يوضح سهم التيار اتجاه مرور التيار المصطلح عليه (الذي هو حركة الشحنة الموجبة في اتجاه السهم او حركة الالكترونات في الاتجاه المعاكس) . بينما يشير سهم الفولتية الى النهاية الاكثر ايجاباً . وتذكر ان مرور التيار المتفق عليه هو من النهاية الاكثر ايجاباً الى النهاية الاقل، يمكن ملاحظة ان كلا السهمين يشيران

الى المعلومات نفسها ، وتصبح زيادة الاختلاف هذه مفيدة في تحليل الدائرة .
 ويعوض عن سهم الفولسة في بعض الكتب باشارة + كما موضح في الشكل 3.2
 (ب) . ويجب التذكر مرة ثانية ان هذه اشارة الى التيار - المستمر ، اذا
 تغيرت الفولتية بتغير الزمن . وربما يشار الى التيار بسهم بجانب رمز العنصر كما
 في الشكل 3.2 (ب) .



شكل 3.2 رموز الفولتية والسار والمقاومة .

(أ) الرموز المصطلح عليها للفولتية والسار

(ب) رموز تدبلة للتيار والفولتية .

(ج) المقاومة الكلية لمجموعة التوالي

(د) المقاومة الكلية لمجموعة التوازي .

يوضح الشكل 3.2 (ج) مقاومة التوالي الفعلية R_{ser} لسلسلة من المقاومات
 والتي تعطى بـ

$$R_{ser} = R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n$$

يوضح الشكل 3.2 (د) مقاومة التوازي الفعلية R_p للشبكة الموضحة والتي
 تعطى بـ

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (3.3)$$

وباستخدام رمز التوصيلية G . يمكن كتابة ذلك كالتالي :

$$G_p = G_1 + G_2 + \dots + G_n \quad (3.4)$$

ويمكن تنظيم المعادلة 3.3 عند استخدام مقاومتين فقط لتعطي :

$$\dots(3.5)$$

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

ولفرض اختبار الحسابات . لاحظ ان مقاومة التوالي المؤثرة اكبر دائماً من اعلى مقاومة مفردة في السلسلة ، بينما تكون مقاومة التوازي المؤثرة اقل دائماً من اصغر مقاومة مفردة في شبكة التوازي .

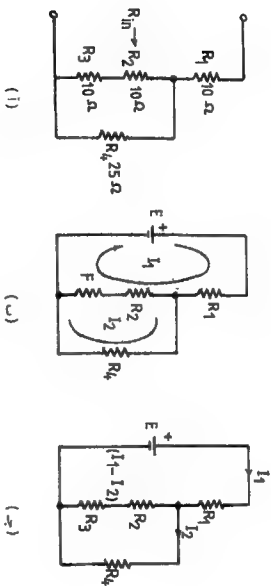
3.4 تحليل دوائر المقاومة :

يوضح الشكل 3.3 (أ) دائرة نوالي - توازي . لاحظ ان مقاومات الـ 10 أوم الثلاث هي لبست على التوالي لأنها لا تحمل التيار نفسه . ولايجاد مقاومة الادخال المؤثرة لهذه الدائرة ، اي . المقاومة بين النهايات . تجمع R_2 و R_3 على التوالي أولاً لاعطاء

$$(R_2 + R_3) = 10 + 10 = 20 \Omega$$

ثم تجمع R_4 على التوازي مع $(R_2 + R_3)$:

$$= \frac{25 \times 20}{25 + 20} = 11.1 \Omega$$



شكل 3.3 (أ) دائرة توافقي ، توافقي ، توافقي . (ب) دائرة (ج) مجمع .

واخيراً تضاف هذه القيمة الى R_1 على التوالي . اذ تكون مقاومة الادخال R_{in} هي :

$$R_{in} = 10 + 11.1 = 21.1 \Omega$$

ان التطبيق الملائم لمعادلات كروشوف او (Mesh) يمكن ان يبسط تحليل الدائرة بصورة ملحوظة . على الرغم من انه لا يبرر استعمالها في مثل هذه الدائرة البسيطة الموضحة في الشكل 3.3 (أ) ، اذ تستخدم لتوضيح هذه النظرية . وقد اعيد رسم هذه الدائرة في الشكل 3.3 (ب) بتسليط مصدر بطارية E ، ان مقاومة الادخال R_{in} هي :

$$R_{in} = \frac{E}{I_1} \quad \dots(3.6)$$

لقد فرض دوران التيار I_1 حول الدارة المؤلف من E و R_1 و R_2 و R_3 ، والتيار I_2 حول الدارة R_2 و R_3 و R_4 . تكون التيارات الحقيقية كما هو موضح في الشكل 1.3 (ج) لكن يلاحظ في كلا الدائرتين ان التيار المار في R_2 و R_3 هو نفسه ($I_1 - I_2$) .

ان فائدة الطريقة الاولى هي امكانية كتابة معادلات كروشوف بصورة منتظمة ، اذن ومن الشكل 3.3 ب ، تكون التيارات الدائرة في اتجاه عقارب الساعة حول كل دائرة هي :

وبحل هاتين المعادلتين باستخدام المحددة ،

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} E & -(R_2 + R_3) \\ 0 & R_2 + R_3 + R_4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R_1 + R_2 + R_3 & -(R_2 + R_3) \\ -(R_2 + R_3) & R_2 + R_3 + R_4 \end{vmatrix}}$$

$$= \frac{E (R_2 + R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2 + R_3) (R_2 + R_3 + R_4) - (R_2 + R_3)^2}$$

اذن

$$R_{in} = \frac{E}{I_1} = \frac{(R_1 + R_2 + R_3)(R_2 + R_3 + R_4) - (R_2 + R_3)^2}{R_2 + R_3 + R_4}$$

$$= R_1 + R_2 + R_3 - \frac{(R_2 + R_3)^2}{R_2 + R_3 + R_4}$$

وباستخدام القيم المعطاة في المثال :

$$R_{in} = 10 + 10 + 10 - \frac{(10 + 10)^2}{10 + 10 + 25}$$

$$= 30 - \frac{400}{45}$$

$$= 21.1 \, \Omega$$

أ - مجزئ الفولتية البسيط : Potentiometer

يتألف مجزئ الفولتية من مقاومة لها نقطة تفريع متغيرة ، كما موضح في الشكل 3.4 (أ) . نفرض ان فولتية الادخال E ثابتة ، يمكن ضبط تفريضة مجزئ الفولتية عند جزء ما (a مثلاً) من المقاومة الكلية R . المطلوب إيجاد فولتية الاخراج V_L بدلالة الكميات الاخرى ، وبتطبيق قوانين كرشوف في الدارات الحاوية على I_1 و I_2 نحصل :

I_2 إذن يكون

$$E = I_1 R - I_2 a R$$

$$0 = -I_1 a R + I_2 (a R + R_L)$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} R & E \\ -aR & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R & aR \\ -aR & (aR + R_L) \end{vmatrix}}$$

$$= \frac{EaR}{R(aR + R_L) - (aR)^2}$$

$$= \frac{Ea}{R_L + a(1-a)R}$$

وتمطى فولتية الاخراج بواسطة .

$$V_L = I_2 R_L$$

$$= \frac{EaR_L}{R_L + a(1-a)R}$$

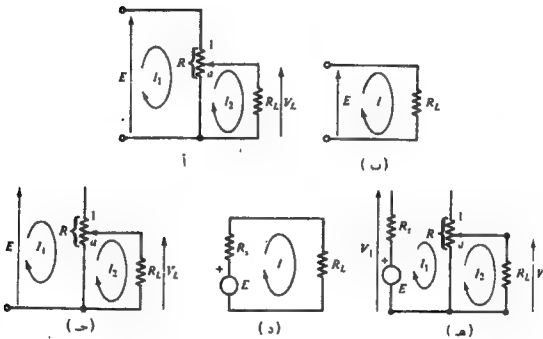
$$= \frac{Ea}{1 + a(1-a)(R / R_L)}$$

تكون نسبة مجزء الفولتية :

$$\frac{V_L}{E} = \frac{a}{1 + a(1-a)(R/R_L)} \quad (3.9)$$

وتصبح هذه النسبة ، عند $R \gg R_L$:

$$\frac{V_L}{E} \approx a \quad (3.10)$$



نكل 3.4 (أ) مجزء فولتية مقاومي تستخدم (ب) و (ج) في تحديد فقد الادخال $\frac{I_2}{I}$ وتستخدم (د) و (هـ) في تحديد فقد الادخال $\frac{I_2}{I}$ باخذ معاومه المصدر بظفر الاعتبار

وتعرف النسبة $\frac{V_L}{E}$ كذلك بدالة انتقال الفولتية . وهناك متغير وسيط مهم آخر هو فقد الإدخال (Insertion loss) ، الذي يعرف بأنه نسبة تيارات الحمل بوجود الشبكة الى عدم وجودها . ويكون فقد الإدخال $\frac{I_2}{I}$ من الشكل 3.4 (ب) و (ج) :

$$I \approx \frac{E}{R_L} \quad \text{الشكل 3.4 (ب)}$$

$$I_2 = \frac{E_a}{R_L + a (1 - a) R} \quad \text{الشكل 3.4 (ج)}$$

$$\frac{I_2}{I} \quad \text{اذن يكون فقد الإدخال :}$$

$$\frac{a}{1 + a (1 - a) (R / R_L)} \quad (3.11)$$

وتظهر كأنها دالة انتقال الفولتية نفسها ، ولا تكون صحيحة الا اذا أمكن إهمال مقاومة المصدر وعند اخذ مقاومة المصدر بنظر الاعتبار ، يعطي الشكل 3.4 (ج) و (د) :

[الشكل 3.4 (د) ...]

$$I = \frac{E}{R_s + R_L}$$

$$E = I_2 (R + R_s) - I_2 a R$$

$$0 = -I_1 nR + I_2 (nR + R_L) \quad \dots \text{[الشكل 3.4 (هـ)]} \quad \text{اذن}$$

$$I_2 = \frac{EnR}{(R + R_q) nR + (nR)^2}$$

$$: \frac{I_2}{I} \text{ ويكون فقد الادخال}$$

$$= \frac{nR (R_q + R_L)}{(R + R_q) (nR + R_L) - (nR)^2}$$

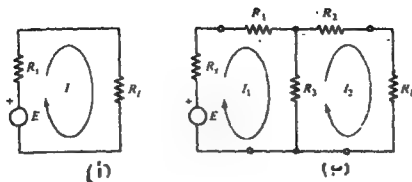
يمكن تعريف دالة انتقال الفولتية بصورة عامة كالآتي :

$$: \frac{\text{فولتية الاخراج من الشبكة}}{\text{فولتية الادخال الى الشبكة}} \quad \dots \text{(3.13)}$$

ومن الشكل 3.4 (هـ) يلاحظ انها تكون $\frac{V_2}{V_1}$ ، وبتفكير بسيط يتضح انها تساوي النسبة بين $\frac{I_2}{I}$ المذكورة للشكل 3.4 (جـ) .

ب - مخدات التوهين : Attenuation pads

إن مخدة التوهين هي شبكة مقاومة تستخدم لاعطاء كمية ثابتة للتوهين بين المصدر والحمل وان احدى الدوائر الشائعة هي موهن T الموضح في الشكل 3.5 (ب) . كما يعطي فقد الادخال توهينا . يعبر عنه عادة بالديسبل (decibel) .



شكل 3.5 (أ) شبكة من دون موهن (ب) اضافة موهن T الى السكة (أ).

$$(أ) \text{ من الشكل 3.5 } I = \frac{E}{R_s + R_L} \quad (3.14)$$

$$(ب) \text{ من الشكل 3.5 } E = I_1 (R_2 + R_1 + R_3) - I_2 R_3$$

$$0 = -I_2 R_3 + I_2 (R_2 + R_3 + R_L)$$

اذن

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} R_s + R_1 + R_3 & E \\ -R_3 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R_s + R_1 + R_3 & -R_3 \\ -R_3 & R_2 + R_3 + R_L \end{vmatrix}}$$

$$= \frac{ER_3}{(R_s + R_1 + R_3)(R_2 + R_3 + R_L) - R_3^2}$$

$$= \frac{I_1}{I} \quad \text{يكون فقد الادخال}$$

$$\frac{R_3 (R_s + R_L)}{(R_s + R_1 + R_3)(R_2 + R_3 + R_L) - R_3^2} \quad (3.15)$$

توضح الإشارة السالبة حدوث التوهين ، أي ، يكون فقد الادخال رقماً موجباً بالديسيل .

مثال 3.1 : احسب التوهين بالديسيل لخدّة T التي يكون فيها $R_1 = R_2 = 31 \Omega$ و $R_3 = 25 \Omega$. وتربط الخدّة بين المولدة 50 اوم والحمل 50 اوم .

الحل :

$$\begin{aligned} \frac{I_2}{I} &= \frac{25 (50 + 50)}{(50 + 31 + 25) (31 + 25 + 50) - (25)^2} \\ &= \frac{2500}{(106)^2 - (25)^2} \\ &= 0.236 \end{aligned}$$

$$-20 \log_{10} \frac{I_2}{I} = 12.65 \text{ dB}$$

ويحافظ الموهن عادة على شروط التوفيق (matching) كما سيوضح في الفقرة الآتية ، وكما وضع في المألّة 4 في الفقرة 3.16

وضح الشكل 3.6 دائرة موهن بسيط ، الذي يستخدم عادة للتوفيق بين المصدر والحمل . أي ، عندما يدخل بين المصدر والحمل . تكون المقاومة المؤثرة بالنسبة للمصدر تساوي ممانعة المصدر في قيمتها ، وإن ممانعة المصدر المؤثرة كما يراها الحمل تساوي ممانعة الحمل في قيمتها . ويلاحظ من الشكل 3.6 (أ) ، أن :

$$R_s = R_{in} = R_1 + \frac{R_3 R_L}{R_3 + R_L}$$

$$\therefore R_s - R_1 = \frac{R_3 R_L}{R_3 + R_L}$$

$$\therefore \frac{I}{R_s - R_1} = \frac{I}{R_3} + \frac{I}{R_L} \quad (3.17)$$

$$\frac{I}{R_L} = \frac{I}{R_3} + \frac{I}{R_1 + R_s} \quad (3.18)$$

ويُمكن استئصال قيمة $\frac{1}{R_3}$ من المعادلات (3.17) و (3.18) معطية :

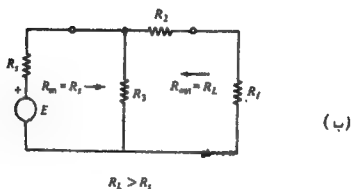
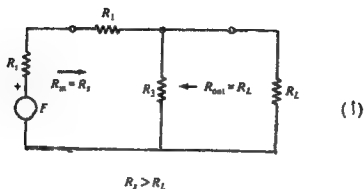
$$\frac{I}{R_s - R_1} - \frac{I}{R_L} = \frac{I}{R_L} - \frac{I}{R_3 + R_1}$$

$$\therefore \frac{I}{R_s - R_1} + \frac{I}{R_s + R_1} = \frac{2}{R_L}$$

$$\therefore \frac{2R_s}{R_s^2 - R_1^2} = \frac{2}{R_L} \quad (3.19)$$

$$R_1^2 = \frac{R_s^2 - R_s R_L}{R_s}$$

$$R_1 = \sqrt{R_s(R_s - R_L)}$$



شكل 3.6 (أ) موهر نوع I. (ب) موهر نوع II. $(R_2 > R_L)$. $(R_2 < R_L)$ I.

ومن ثم يمكن تحديد قيمة R_3 من المعادلة (3.17) بواسطة تعويض R_1 من المعادلة (3.19). ولتكون هذه النتيجة صحيحة يجب ان تكون $R_1 < R_2$ ، والا تصبح R_1 قيمة خيالية. اذا كانت $R_1 > R_2$ تستخدم دائرة الشكل 3.6 (ب)، اذ تصبح المعادلة

مثال 3.2 تستخدم شبكة - 1A للوفيق بين المولدة 75 اوم والحمل 50 اوم جد قيم مقاومات الشبكة.

الحل : تستخدم دائرة الشكل 3.6 (أ)

$$\frac{1}{R_q - R_1} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_L}$$

$$\frac{1}{75 - 43.3} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{50}$$

اذن

$$\frac{1}{31.7} - \frac{1}{50} = \frac{1}{R_3}$$

$$R_3 = \frac{31.7 \times 50}{50 - 31.7}$$

$$= 86.6 \Omega$$

مثال 3.3 اعد المثال 3.2 عندما $R_1 = 50 \Omega$ ، $R_3 = 10 \Omega$

الحل : تستخدم دائرة الشكل 3.6 (ب) .

$$\begin{aligned} R_2 &= \sqrt{R_L (R_1 - R_q)} \\ &= \sqrt{50 (50 - 10)} \\ &= 44.72 \Omega \end{aligned}$$

$$R_2 = \sqrt{R_L (R_L - R_3)} \quad (3.29)$$

$$\begin{aligned} R_1 &= \sqrt{75(75 - 50)} \\ &= 43.3 \Omega \end{aligned}$$

وبصورة مشابهة للمعادلة (1.17) :

$$\frac{1}{R_L - R_2} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5}$$

$$\frac{1}{50 - 44.72} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{10} \quad \text{إذن :}$$

$$\frac{1}{5.28} - \frac{1}{10} = \frac{1}{R_3}$$

$$R_3 = \frac{10 \times 5.28}{10 - 5.28}$$

$$= 11.19 \Omega$$

3.5 الممانعة والمعاوقة : (Impedances and reactance)

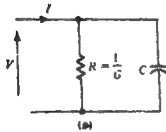
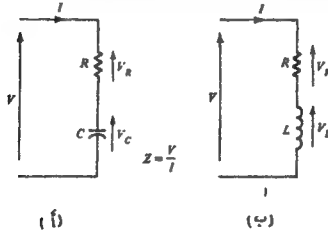
يمكن تحديد قوانين كرشوف وأوم لتشمل دوائر التيار - المتناوب بشرط اخذ خواص الدائرتين الاضافيتين للمعاعة والمتسعة بنظر الاعتبار . تعبر هذه الخواص بتيارات جيبية بدلالة الممانعة . يمكن إيجاد مواضيع الممانعة والاطوار وممثل الرقم المركب في أي كتاب جيد في تحليل الدوائر الكهربائية . ونعطي هنا ملخصاً لبعض النتائج المهمة .
نتائج المهمة .

تعرف ممانعة الدائرة Z بأنها نسبة الفولتية الطورية V عبر الدائرة الى التيار الطورية I خلال الدائرة .

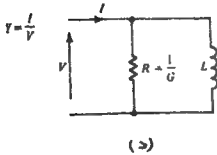
$$Z = \frac{V}{I} = R + jX \quad \dots(3.21)$$

$$j = \sqrt{-1} \quad \text{اذ ان}$$

ومن التعريف ، يكون الجزء الحقيقي R للممانعة هي بفاومة الدائرة ، كما أن الجزء الخيالي X يمثل المفاعلة . وربما تتكون الدائرة فيزيائياً من مقاومة R مربوطة على التوالي مع مفاعلة X ، التي ربما تكون محثاً أو متعة أو مجموعاً منها . ومن المحتمل أن تمثل المعادلة (3.21) ممانعة مكافئة لدائرة أكثر تعقيداً . وقد غطت الفقرة 3.7 إحدى الدوائر المكافئة المهمة .



شكل 3.7 تمثل الممانعة (أ) دائرة RC
(ب) دائرة RL . يمثل المسار (ج) دائرة RC .
(د) دائرة RL .



وبالنسبة للدوائر الموضحة في الشكل 3.7 (أ) :

$$\begin{aligned} Z &= R + j X_c \\ &= R - j \frac{1}{\omega C} \\ &= R + j \left(- \frac{1}{\omega C} \right) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 3.22$$

أي تكون المفاعلة السعوية من التعريف هي :

$$X_c = \frac{-1}{\omega C} \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

أذ تمثل ω التردد الزاوي للفولتة أو للتيار الجيبى .

$$\begin{aligned} Z &= R + j X_L \\ &= R + j \omega L \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

أي تكون المفاعلة الحثية من التعريف هي :

$$X = \omega L \quad \dots\dots\dots (3.25)$$

وكما موضح في الشكل 3.7 . يكون رمز الإشارة لمبوط الفولتية عبر العنصر غير الفعال هو نفسه كما للمقاومة .
وبإهمال الاقتران الحثي - المتبادل (الذي سيفرض في الفصل 3.11) ، تكون المفاعلة المؤثرة لدائرة التوالي X_{ser} هي :

$$X_{ser} = X_1 + X_2 + X_3 \dots\dots X_n \dots\dots (3.26)$$

وعندما تكون المفاعلات المفردة كافة حثية ، تكون محاطة التوالي المكافئة من المعادلتين (3.26) و (3.25) هي :

$$L_{ser} = L_1 + L_2 + L_3 + L_n(3.27)$$

اما في حالة المتسعات ، تكون متسعة التوالي المكافئة C_{ser} والتي يمكن الحصول عليها من المعادلتين (3.23) و (3.26) بالشكل الآتي :

$$\frac{1}{C_{ser}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... \frac{1}{C_n}(3.28)$$

وتعطي المفاعلة المؤثرة لدائرة توازي المحاثات بواسطة :

$$\frac{1}{X_p} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + ... \frac{1}{X_n}(3.29)$$

وعندما تكون المفاعلات المفردة كلها حثية ، نحصل بذلك على تعبير المحاطة المؤثرة للتوازي (بإهمال محاطة الاقتران) وهي :

$$\frac{1}{L_p} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_n}(3.30)$$

وعندما تكون المفاعلات المفردة كلها سعوية ، نحصل بذلك على تعبير المتسعة المؤثرة للتوازي وهي :

$$C_p = C_1 + C_2 + C_n(3.31)$$

ولفرض التأكد من الحسابات ، يمكن ملاحظة أن L_{ser} أكبر من أعلى عاثة مفردة في دائرة التوالي . بينما يجب أن تكون L_p اصغر من اقل عاثة مفردة في دائرة التوازي . اما بالنسبة للمتعات ، يجب ان تكون C_{ser} اقل من اصغر متعة في دائرة التوالي ، بينما يجب أن تكون C_p أكبر من أعلى متعة في دائرة التوازي .

3.4 مثال

احسب الممانعة (أ) مقاومة 5 اوم التوالي مع عاثة 1.0 مايكروهنري و (ب) مقاومة 5 اوم التوالي مع متعة 0.02533 . مايكروفاراد ، عند تردد 1.0 ميكا هرتز .

الحل :

$$\begin{aligned} Z &= 5 + j2\pi \times 10^6 \times 10^{-6} \\ &= \underline{\underline{5 + j6.28\Omega}} \end{aligned} \quad (أ)$$

$$\begin{aligned} Z &= 5 - j/2\pi \times 10^6 \times 0.02533 \times 10^{-6} \\ &= \underline{\underline{5 - 16.28\Omega}} \end{aligned} \quad (ب)$$

3.6 الممانعة والتقبيلية (ADMITTANCE AND SUSCEPTANCE)

تعرف ممانعة الدائرة Y كنسبة التيار الطوري خلال الدائرة الى الفولتية الطورية عبر الدائرة . أي :

$$Y = \frac{I}{V} = G + jB \quad \dots(3.32)$$

وبلاحظ في ذلك أن الماسارة هي مقلوب الممانعة

$$Y = 1/Z \quad \dots(3.33)$$

ومن التعريف ، يمثل الجزء الخفيقي G للماسارة "بتوصيلة" الدائرة ، كما يمثل الجزء الخيالي B بالتقبليّة (susceptance) وتكون ماسارة الدائرة المؤلفة من مقاومة نموذجية R على النوازي مع متسعة منالبة C كما في الشكل 3.7 (ج) هي :

$$Y = G + j B_C$$

$$= \frac{1}{R} + j\omega C \quad \dots(3.34)$$

اذن تكون التوصيلة

$$G = 1/R \quad \dots(3.35)$$

وتكون التقبليّة السعوية

$$B_C = \omega C \quad \dots(3.36)$$

وتكون ماسارة الدائرة المؤلفة من مقاومة نموذجية R على النوازي مع محاثّة نموذجية L كما في الشكل 3.7 (ج) .

$$\begin{aligned} Y &= G + jB_L \\ &= G + j(-1 / \omega L) \\ &= G - j / \omega L \end{aligned} \quad \dots(3.37)$$

اذن تكون التقابة الحشة هي :

$$B_L = -1 / \omega L \quad \dots(3.38)$$

وقد لايجتمل في الناحية العملية فرض العناصر النموذجية ، وخاصة في الملفات التي تتميز عادة بمقاومة التوالي . وستعالج مسابرة هذا النوع من العناصر في الفقرة 3.7 .

مثال 3.5

عند التردد 1.0 ميكا هرتز . احسب المسابرة لـ (أ) مقاومة 1 كيلو اوم توازي مع متسعة 200 بيكوفاراد . و (ب) مقاومة 1 كيلو اوم توازي مع محاث 126.6 مايكرو هنري .

الحل :

$$Y = \frac{1}{10^{-3}} + j2\pi \times 10^6 \times 200 \times 10^{-12}$$

$$= 10^{-3} + j12.57 \times 10^{-4} \text{ (S) سيمنس}$$

$$= 1 + j1.257 \text{ mS}$$

$$Y = 10^{-3} - j/(2\pi \times 10^6 \times 126.6 \times 10^{-6})$$

$$= 1 - j1.257 \text{ mS}$$

3.7 ربط التوالي والتوازي المتكافئان

تكون الممانعة هي اكثر الكميات ملائمة لاستعمالها عند التعامل مع دوائر التوالي ، وتكون المسابرة كذلك عند التعامل مع دوائر التوازي ، على الرغم من تحويل القيمة النهائية للمسايرة عادة الى مقاومة نوازي مع محاث (عوضاً عن تركها بشكل توصيلية وتقليبية) ويمكن ايجاد مكافئه مفيد جداً بين دوائر التوالي والتوازي ، عند تردد معلوم .

نفرض أولاً دائرة يمكن تمثيلها بمقاومة R على التوالي مع مفاعلة X .

$$Z = R + jX$$

تكون المايرة المكافئة هي :

$$Y = 1/Z$$

$$\begin{aligned} G + jB &= \frac{1}{R + jX} \\ &= \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2} \end{aligned}$$

اذن تكون التوصيلة المكافئة هي :

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2} \quad \dots(3.39)$$

وتكون التقبيلة المكافئة هي :

$$B = - \frac{X}{R^2 + X^2} \quad \dots(3.40)$$

مثال 3.6

احسب دائرة التوازي المكافئة لمتسعة 100 بيكو فاراد مربوطة على التوالي مع مقاومة 1 اوم ، عند تردد 15.9 مگاهرتز .

الحل :

$$X_c = \frac{-1}{2\pi \times 15.9 \times 10^6 \times 100 \times 10^{-12}}$$

$$= 100 \Omega$$

$$G = \frac{1}{1^2 + 100^2}$$

$$\cong 10^{-4} S$$

اذن تكون مقاومة التوازي المكافئة للدائرة هي 10^4 اوم او 10 كيلو اوم ومن المعادلة (3.40) :

$$B = \frac{-(-100)}{1^2 + 100^2}$$

$$\cong 0.01 S$$

سيمس

ومن تطبيق المعادلة (3.36) نجد متعة التوازي المكافئة تساوي :

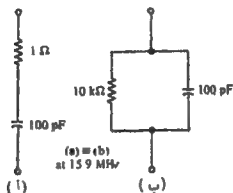
$$B = \omega C_{eq} = 0.01$$

$$\therefore C_{eq} = 100pF.$$

بيكوفاراد

ويوضح الشكل 3.8 (أ) و (ب) الدوائر المكافئة . ويجب ملاحظة ان القيم الموضحة ملائمة للتردد 15.9 ميكا هرتز فقط . وتتغير قيم العناصر المكافئة بتغير التردد ، كما موضح في المثال الاتي :

مثال 3.7 يمكن تمثيل ملف بمحاثة 15.92 مابكرهنري على التوالي مع مقاومة 10 أوم. جد دائرة التوازي المكافئة للتردد (أ) 10 ميكاهرتز (ب) 20 ميكاهرتز ، افرض ان قيم عناصر التوالي ثابتة .



شكل 3.8 الدوائر المكافئة للمثال 3.6 (أ) توالى (ب) توازي .

الحل :

(أ)

$$X_{L_1} = 2 \pi \times 10^7 \times 15.92 \times 10^{-6} \\ = 1000 \Omega$$

ومن المعادلة (1.39)

$$G = \frac{10}{10^2 + 1000^2} \\ \cong 10^{-5} \quad S$$

$$R_p = \frac{1}{G} = \underline{\underline{100 \text{ k}\Omega}}$$

تكون التقاية من المعادلة (1.40)

$$B = - \frac{1000}{10^2 + 1000^2}$$

$$= -1.0 \quad \text{mS}$$

ويمكن إيجاد عاتة التوازي المكافئة بتطبيق المعادلة (3.38) كالآتي :

$$B_{L_1} = -1/\omega L_{eq} = -10^{-3}$$

اذن وعند التردد 10 ميكاهرتز .

$$L_{eq} = 1/2 \pi \times 10^7 \times 10^{-3}$$

$$= 15.92 \mu\text{H}$$

(ب) وبزيادة التردد الى 20 ميكاهرتز ، تزداد X_{L_1} الى 2000 اوم . يعطي تطبيق المعادلتين (3.39) و (3.40) الآتي :

$$G = \frac{10}{10^2 + 2000^2}$$

$$\cong \frac{10^{-5}}{4}$$

$$R_p = \frac{1}{G} = 400 \text{ k}\Omega$$

اذن

ومن المعادلة (3.40)

$$B = - \frac{2000}{10^2 + 2000^2}$$

$$\cong -1.0 \text{ mS}$$

اذن تكون محاسة التوازي المكافئة هي 15.92 مايكروهنري ، ويمكن الملاحظة من هذا المثال الخاص انه في حالة وجود تغير في قيمة محاسة التوازي المكافئة التي تساوي قيمة محاسة التوالي تقريباً ، تزداد قيمة مقاومة التوازي المكافئة متناسبة مع مربع التردد تقريباً .

ويمكن اتباع الطريقة نفسها للحصول على دائرة التوالي المكافئة من دائرة التوازي . نفرض التوصيلية G على التوازي مع التقبيلية B ، اذ يكون :

$$Y = G + jB$$

وتكون الممانعة المكافئة

$$Z = 1/Y$$

$$R + jX = \frac{1}{G + jB} \quad \text{أو}$$

$$R + jX = \frac{G}{G^2 + B^2} - j \frac{B}{G^2 + B^2}$$

اذن تكون مقاومة التوالي المكافئة هي :

$$R = \frac{G}{G^2 + B^2} \quad \dots(3.41)$$

وتكون مفاعلة التوالي المكافئة هي :

$$X = - \frac{B}{G^2 + B^2} \quad \dots(3.42)$$

مثال 3.8 :

يمكن تمثيل مكثف بمسمة 50 بيكوفاراد على التوازي مع مقاومة فقد العازل 10 ميكاوم احسب دائرة التوالي المكافئة ، عند تردد 1.0 ميكا هرتز .

الحل :

$$\begin{aligned} G &= 10^{-7} \text{ S} \\ B &= 2 \pi \times 10^6 \times 50 \times 10^{-12} \\ &= 314.2 \text{ S} \end{aligned}$$

من المعادلة (3.41) ،

$$\begin{aligned} R &= \frac{10^{-7}}{15^{14} + (314.2)^2 + 10^{-12}} \\ &\approx 1.013 \Omega \end{aligned}$$

ومن المعادلة (3.42)

$$x = \frac{-314.2 \times 10^{-6}}{10^{14} + (314.2)^2 \times 10^{-12}} = - \frac{1}{314.2 \times 10^{-6}} \Omega$$

ولهذا ومادامت $(x = \frac{-1}{B})$ ، فليس هناك فرق واضح عن قيمة النوازي .

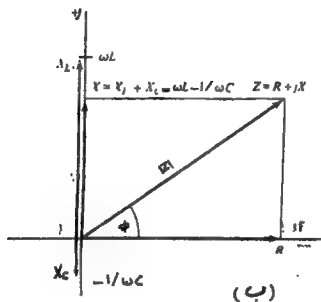
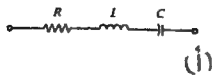
3.8 دائرة التوالي لـ RLC

تكون الممانعة الكلية لدائرة توازي RLC هي :

$$Z = R + j(X_L + X_C) \quad \dots(3.43)$$

$$= R + j(\omega L - 1/\omega C) \quad \dots(3.44)$$

تكون ممانعة التوالي هذه بشكل قيمة مركبة . يجوي الشكل 3.9 (أ) على الصيغة المركبة هذه مع معلومات كافية لحساب Z بصورة كاملة .



شكل 3.9 (أ) دائرة توالي RLC (ب) مخطط معاومتها

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{---(3.45)}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right) \quad \text{---(3.46)}$$

$$X = X_L + X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

[الشكل 3.9 (ب)]

رنين التوالي وعامل الجودة .

تُنفَم دائرة توالي RLC عندما تساوي زاوية الطور ϕ صفراً . ويعني ذلك ان تساوي X صفراً ايضاً . اذ ان $\phi = \tan^{-1} \frac{X}{R}$

$$\therefore X = X_L + X_C = 0$$

$$X_L = - X_C \quad \text{أو} \quad (3.47)$$

ويرمز لهذا الشرط بالوسم 0 .

$$\omega_0 L = - (- 1 / \omega_0 C)$$

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad \text{----} (3.48)$$

$$\therefore \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{----} (3.49)$$

إن هذه المعادلة البسيطة والمهمة تعرف بـ « تردد الرنين » لدائرة التوالي . وبصورة واضحة ، تكون عانعة الدائرة في اقل قيمتها عند f_0 ، ويمثل بمقاومة نقية ، اذ

$$\begin{aligned} Z_0 &= R + j (\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C}) \\ &= R + j 0 \end{aligned} \quad \text{....} (3.50)$$

ويمكن ضبط L أو C في الدائرة لجلب الدائرة الى الرنين مع التردد المسلط وتدعى العملية « بالتنظيم » وتدعى الدائرة كذلك « بدائرة التوالي المنفمة » وتظهر عازمة الدائرة عند الترددات الاقل من الرنين كمتسعة اذ يكون المعامل L سالباً ، وتكون حثية عند الترددات الاعلى من الرنين اذ يكون المعامل L موجباً .

إن التطبيق الواسع للدائرة المنفمة يكون في مرشح اختيار التردد الموضح في الشكل 3.10 (أ) في ابط صورة . يتكون مدخل النظام من اشارتين جيبيتين f_0 و f_0 ($f \neq f_0$) بينما يتكون تيار الخرج في الحمل R_L غالباً من اشارة بتردد f ، بشرط ان تكون $R \gg R_L$ ، ويتم ترشيح الاشارة عند التردد f_0 بواسطة دائرة التوالي المنفمة عبر الخط يعتمد التأثير الذي تحدثه دائرة التوالي المنفمة على الاشارة f ، على مدى اقتراب f من f_0 على الخاصية المهمة للدائرة والتي تدعى « بالاختيارية » التي تعتمد على عامل الجودة (Q-factor) للدائرة . يمكن تعريف عامل الجودة لدائرة التوالي المنفمة بنسبة فولتية المحاثة على فولتية المقاومة عند الرنين كما يأتي :

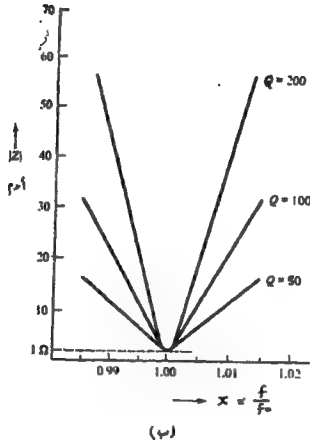
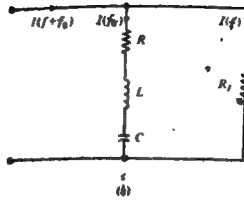
$$Q = \frac{V_L}{V_R} \quad \dots (3.51)$$

$$= \frac{\omega_0 L}{R}$$

يلاحظ ان تردد الرنين قد استعمل في تعريف عامل الجودة للدائرة المتشمة ، وعند تردد الرنين . تكون $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$ ، اذن

$$Q = \frac{1}{\omega_0 CR} \quad \dots (3.52)$$

ويمكن كتابة معادلة عازمة التوالي بدلالة عامل الجودة .



شكل 3.10 (أ) مرشح التوازي المنغم (ب) منحنيات الاختيارية لعوامل الجودة المختلفة لدائرة توازي RLC .

$$\begin{aligned}
Z &= R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \\
&= R \left[1 + j \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega CR} \right) \right] \\
&= R \left[1 + j \left(\frac{\omega}{\omega_0} \frac{\omega_0 L}{R} - \frac{\omega_0}{\omega} \frac{1}{\omega_0 CR} \right) \right] \\
&= R \left[1 + j \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) Q \right] \\
&= R (1 + jyQ) \text{ where } y = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}
\end{aligned}$$

أما القيمة المطلقة لـ Z :

$$|Z| = R \sqrt{1 + y^2 Q^2}$$

يوضح منحنى الشكل 3.10 (ب) علاقة Z مع التردد $\frac{f}{f_0}$ ، وكلما ازداد ضيق المنحنى ، ازدادت اختيارية الدائرة . كما يلاحظ ، أن عامل الاختيارية يكون أفضل عند ازدياد عامل الجودة .

تقاس الاختيارية بدلالة عرض الحزمة B_{3dB} كما يوضح الشكل 3.10 (ب) . وهذا يعود الى عرض حزمة الـ 3dB لأن مستويات الممانعة $\sqrt{2}$ التابعة الى 3dB ، يخفض التيار عن قيمة الرنين عند ثبوت فولتية الادخال . ويمكن اختيار اي مستوى للممانعة لتعريف عرض الحزمة ، ولكن يكون مستوى $\sqrt{2}$ فائدة هي سهولة الحسابات الرياضية . تعود القيم المعينة y_1 الى عرض حزمة الـ 3dB وقد وجدت النقطتان f_1 و f_2 من المعادلة :

$$R \sqrt{1 + y_3^2 Q^2} = R \sqrt{2}$$

$$\therefore 1 + y_3^2 Q^2 = 2$$

$$y_3 = \frac{1}{Q}$$

بلاحظ أن $y_3 = \frac{1}{Q}$ يجب أن تكون موجبة

$$y_3 = \frac{f_2}{f_0} - \frac{f_0}{f_2} = \frac{1}{Q} \quad \text{عند } f_2 \text{ المحددة :}$$

بلاحظ أن $f_2 > f_0$

$$\therefore f_2^2 - \frac{f_0 f_2}{Q} - f_0^2 = 0$$

$$\therefore f_2 = \frac{f_0}{2Q} \pm \sqrt{\left(\frac{f_0}{2Q}\right)^2 + f_0^2} \quad (3.57)$$

وعند f_1 معلومة :

(ملاحظة : $f_1 < f_0$ و y_0 موجبة)

$$y_3 = \frac{f_0}{f_1} - \frac{f_1}{f_0} = \frac{1}{Q}$$

$$\therefore f_0^2 - \frac{f_1 f_0}{Q} - f_1^2 = 0$$

$$\therefore f_1 = \frac{f_0}{2Q} \pm \sqrt{\left(\frac{f_0}{2Q}\right)^2 + f_0^2} \quad (3.58)$$

يمكن الحصول على عرض حزمة 3dB من المعادلتين (1.57) و (1.58) وكالاتي:

$$B_{3dB} = f_2 - f_1$$

$$= \frac{f_0}{Q}$$

يوضح هذا أهمية عامل الجودة Q في تحديد الاختيارية ، إذ تولد Q العالية عرض حزمة 3dB ضيق . وتتراوح قيم Q لدوائر التوالي المنفمة بين 10-300 . ويوضح الشكل 1.10 (ب) تأثير زيادة Q على الاختيارية . وبفرض أن R قيمة ثابتة وتغير Q بتغير $\frac{L}{C}$ إذ

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

3.9 دائرة التوازي المنفمة

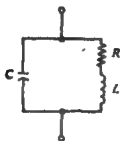
يوضح الشكل 3.12 (أ) دائرة توازي ، وقد فرضت مقاومة المتسمة بقيمة صغيرة مهملة . ولهذا يمكن كتابة مسايرة الدائرة كالاتي :

$$(3.61)$$

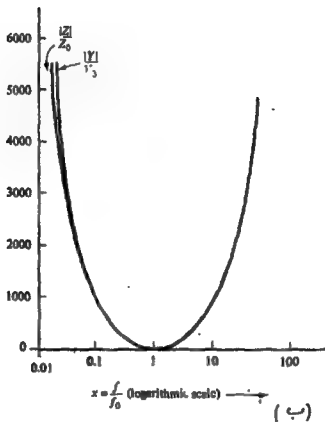
$$Y = \frac{1}{R + j\omega L} + j\omega C$$

$$= \frac{R - j\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} + j\omega C$$

$$= \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j \left(\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} \right) \quad (3.62)$$



(ج)



شكل 3.12 (ج) دائرة توازي منفعة ، (ب) منحنيات الاختيارية العامة لدوائر التوازي - التوالي المنفعة .

وتكون المسيرة قيمة حقيقية عند الرنين (أي يكون معامل L مساوي صفراً).

$$\therefore \omega_0 C = \frac{\omega_0 L}{R^2 + \omega_0^2 L^2}$$

أو

$$R^2 + \omega_0^2 L^2 = \frac{L}{C} \quad (3.63)$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2} \quad \text{أو}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} \quad (3.64)$$

ومن الواضح أن تردد رنين التوازي يعتمد على مقاومة الدائرة ، وهي الحالة التي لا تحدث في دائرة التوالي ، وعملياً تكون حالة $\frac{1}{C} \gg \left(\frac{R}{L}\right)^2$ هي نفسها لكل من رنين التوالي والتوازي .

إن المسيرة عند تردد الرنين هي محانة نفاذ وتساوي

$$Y_0 = \frac{R}{R^2 + \omega_0^2 L^2} \quad (3.65)$$

اذن ومن المعادلة (3.63) ، $R^2 + \omega_0^2 L^2 = L / C$ اذن :

$$Y_0 = \frac{CR}{L} \quad (3.66)$$

وتكون الممانعة عند الرنين مقاومة نقية وترمز بـ R_D وتشير الى المقاومة الحركية :

$$R_D = \frac{1}{Y_0} = \frac{L}{CR} \quad (3.67)$$

ويكون هذا مقارباً للممانعة العليا التي حصل عليها ، ولكن لا تساوي بالضبط ، اذ يمكن استعمال التقريب من معادلة تردد الرنين ، وتنطبق الممانعة العليا مع الممانعة عند الرنين .

توضح النسبة $\frac{Y}{Y_0}$ كيفية تغير المسيرة مع التردد نسبة الى قيمة الرنين . وعادة تكون $(\omega^2 L^2 + R^2)$ بحيث يمكن تبسيط معادلة (3.62) بالنسبة لـ Y ، ويعطى استخدام المعادلة (3.66) الآتي ،

$$\frac{Y}{Y_0} = \frac{L}{CR} \left[\frac{R}{\omega^2 L^2} + j(\omega C - 1/\omega L) \right]$$

$$= \frac{1}{\omega^2 LC} + j \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega CR} \right)$$

$$\frac{1}{\omega^2 LC} + j\omega Q \quad (3.68)$$

اذ ان ωQ هي كما اعطيت في المعادلة (3.54) ، وان $\omega_0^2 LC =$

$$\therefore |Y| = Y_0 \sqrt{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^4 + (\omega Q)^2} \quad (3.69)$$

يكون المنحني |Y| مقابل $\frac{f}{f_0}$ لدائرة التوازي مشابهاً لمنحني |Z| مقابل. لدائرة التوالي كما هو موضح في الشكل 3.12 (ب) ويختلف المنحنيان عند الترددات الواطئة فقط. وقد رسم التردد بمقياس لوغاريتمي لظهور ذلك. ويتبع ذلك اعطاء عرض حزمة الـ 3dB لدائرة التوازي بواسطة .

$$B_{3dB} = \frac{f_0}{Q} \quad (1.70)$$

وتستخدم دائرة التوازي المنفمة كذلك كمرشح ، وذلك لظهارها مانعة عالية للأشارات عند تردد الرنين ، كما موضح في المثال 3.9 ويجب ملاحظة ان الممانعة الحركية R_D تسلط عند تردد الرنين . وتلأقي التيارات المستمرة مثلاً مقاومة R فقط وهي مقاومة الملف . قبل ذكر المثال 3.9 ربما يلاحظ فائدة علاقة المعادلة (3.67) لـ R_D التي يمكن اشتقاقها باستخدام المعادلتين (3.51) و (3.52) بالنسبة لعامل جودة الدائرة ، إذن :

$$R_D = \frac{L}{CR} \quad (1.67)$$

$$= \omega_0 L Q \quad (1.71)$$

$$= \frac{Q}{\omega_0 C} \quad (1.72)$$

$$= Q^2 R \quad (1.73)$$

مثال 3.9 دائرة توازي منفمة لها عامل جودة تساوي 200 عندما تنغم عند 10 ميگاهرتز . وقيمة متعة التنعيم هي 10 بيكوفاراد . أحسب (أ) الممانعة الحركية و (ب) مقاومة الـ d.c. . نفرض أنها ثابتة مع التردد .

الحل :

(أ) بتطبيق المعادلة (3.72)

$$R_D = \frac{200}{2\pi \times 10^7 \times 10 \times 10^{-12}}$$

$$= 318 \text{ k}\Omega$$

(ب) من المعادلة (3.72)

$$R = \frac{R_D}{Q^2} = \frac{318 \times 10^3}{(200)^2} = 7.96 \Omega$$

وعند الترددات الأقل من الرنين ، تكون ممانعة الدائرة حثية ، وتكون في الترددات الأعلى سعوية . يمكن تذكر ذلك بسهولة وذلك بملاحظة كون المحاثات دائرة قصر عند التردد القريب من الصفر ، وتكون التيارات حثية كافة ، وباقتراب التردد من القيمة غير المنتهية ، تقترب المفاعلة السعوية من دائرة - القصر مما يجعل التيار الكلي سعوياً .

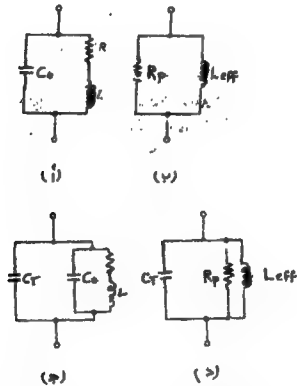
3.9.1 الرنين الذاتي للملف :

يكون للملف الحقيقي مقاومة فضلاً عن حثيته - الذاتية ، وكذلك سعة - ذاتية التي تتوزع خلال الملف . لا يمكن تمثيل الملف الحقيقي بأية دائرة بسبب طبيعة التوزيع ، ولكن يمكن تقريبها كما موضح في الشكل 3.13 (أ) ، الذي تكون فيه خواص توزيع المقاومة ، والمحثات ، والمتسعة ممثلة بمناصر مجمعة (Lumped) ، R و L و C ومن الواضح ان يسلك الملف الحقيقي سلوك دائرة التوازي المنفمة ، أي : يظهر كمحاثات عند الترددات الأقل من تردد رنينه - الذاتي ، وكممتعة عند الترددات الأعلى من ذلك . ربما يستخدم تعبير المسابرة ، المعادلة (3.62) ، لدائرة التوازي لتمثيل الملف . تقرب $R^2 \gg W^2 L^2$ في تبسيط المعادلة (3.62) إلى :

$$Y = \frac{R}{\omega^2 L^2} + j(\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})$$

$$= \frac{R}{\omega^2 L^2} - j \left(1 - \frac{\omega^2 L C_0}{\omega L} \right) \quad (2.99)$$

ويسمح هذا بتمثيل الملف بدائرة توازي كما في الشكل 3.13 (ب). التي
تطبق في الترددات الأقل من تردد الرنين - الذاتي للملف ،



شكل 3.13: (أ) الدائرة المبررة للملف بضمها المسمه - الذاتية ، (ب) مكافئها التوازي عند الترددات الأقل من تردد الرنين - الذاتي ، (ج) دائرة توازي منقمة (د) دانتها المكافئة ، يأخذ C_0 ببطر الاعتبار .

ويمكن الحصول على مقاومة التوازي المكافئة R_p من

$$\frac{1}{R_p} = \frac{\omega R}{\omega^2 L^2}$$

$$R_p = \frac{\omega^2 L^2}{R} \quad (3.75)$$

ويمكن الحصول على ممانعة التوازي المؤثرة للملف L_{eff} من

$$\frac{1}{\omega L_{eff}} = \frac{-\omega^2 LC_0}{\omega L}$$

$$(3.76)$$

$$L_{eff} = \frac{L}{1 - \omega^2 LC_0} = \frac{L}{1 - (\omega/\omega_0)^2}$$

نفرض استخدام هذا الملف في دائرة التنعيم للشكل 3.33 (ج) ، التي لها تردد رنين ω_T ، أقل كثيراً من الرنين - الذاتي ω_0 للملف (أي نكون متعة التنعيم الخارجية $C_T \gg C_0$). وتكون الممانعة الحركية للدائرة عند تردد الدائرة ω_T ، من المعادلة (3.71) :

$$R_D = Q_{\omega_T} I \quad (3.77)$$

والآن تظهر الدائرة المكافئة للشكل 3.13 (د) بأن لها عامل جودة مؤثرة Q_{eff} ، التي يمكن استخدامها في المعادلة (3.71) مع L_{eff} لتسطي :

$$R_D = Q_{eff} \omega_T L_{eff} \quad (3.78)$$

ومادامت دائرتنا الشكل 3.13 (ج) و (د) متكافئتين إذن :

$$Q \omega_T L = Q_{eff} \omega_T L_{eff} \quad (3.79)$$

$$Q_{eff} = Q \frac{L}{L_{eff}}$$

وبالتعويض من المعادلة (3.77) في المعادلة (3.79) نحصل :

$$Q_{eff} = Q(1 - \omega^2 L C_0) = Q \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right] \quad (3.80)$$

إذا أن $(Q = \omega_T L / R)$ وهي عامل الجودة كما عرف سابقاً ، بإهمال المستعة الذاتية . يبقى عامل الجودة ثابت تقريباً خلال مجال عريض من الترددات ، بسبب ارتفاع قيمة R عند زيادة ωL مع التردد يتأثر العامل القشري (Skin effect). إذ تبقى النسبة $R / \omega L$ ثابتة تقريباً . ومع ذلك يمكن ملاحظة أن عامل الجودة المؤثرة Q_{eff} ينخفض بزيادة التردد إذا أخذت المستعة الذاتية بعين الاعتبار .

ويجب بذل بعض الاهتمام في كيفية استخدام Q_{eff} . يمكن حساب المقاومة الحركية لدائرة التوازي المنفمة في الشكل 3.13 (جـ) أو (د) من أحد التعبيرين للمعادلة (3.77) أو (3.78) أي : أما باستخدام Q_1 أو $Q_{eff} L_{eff}$ في الحسابات . ويمكن استخدام المعادلة (3.72) بشرط تعويض Q بـ $(C_T + C_0) / Q$ أو C_T / Q_{eff} فيها . ويجب استخدام Q وليس Q_{eff} في حساب عرض الحزمة لدائرة التوازي المنفمة من المعادلة (3.70) .

$$\text{عرض الحزمة} = \frac{f_T}{Q} \quad \dots (3.81)$$

وهذا يسبب ضبط C_T عند تردد رنين معين لإلغاء تأثير C_0 (إذ تكون C_T و C_0 على التوازي) . ولا تكون C_T على التوازي مع C_0 في حالة دائرة التوالي المنفمة . تنغم C_T بصورة فاعلة مع L_{eff} لاعطاء عامل جودة الدائرة Q_{eff} ، بحيث أن عرض الحزمة من المعادلة (3.60) يكون :

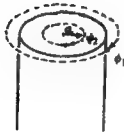
$$\frac{f_T}{Q_{eff}} = \text{عرض الحزمة} \quad (3.82)$$

لدائرة التوالي ويجب ملاحظة أنه في معظم اجهزة قياس عامل الجودة . تكون الدائرة دائرة توازي منفعة إذ يشير المقياس الى Q_{eff} وليس Q .

3.10 التأثير السطحي :

تنتج القوة الدافعة الكهربائية ق . د . ك المحتثة في الملف من سرعة تغير التسرب الفيضي مسبباً مرور التيار الذي يسبب بدوره فيضاً (قانون لينز) . بفرض بصورة اعتيادية ان الفيض كله يربط الموصل بصورة كاملة . ومع ذلك ، يزداد ربط الفيض الحقيقي نحو لب الموصل اذ يربط الفيض المغناطيسي داخل الموصل بالجزء الداخلي فقط . يوصل خط الفيض D_1 بالموصل الكامل في الشكل 3.14 (أ) مثلاً ، بينها يوصل خط الفيض D_2 بالجزء ذي نصف القطر a . وتكون ق . د . ك . اكبر عند مركز الموصل ، التي تولد اعلى ربط فيضي وتصبح اقل عند الاتجاه نحو المحيط الخارجي . وربما ان الق د ك المحتثة تعاكس سريان التيار فتتولد اوطاً كثافة تيار عند المركز وتزداد عند الاتجاه الى المحيط الخارجي . وبالمطبع تنتج كثافة التيار الواطئة عند المركز فيضاً مغناطيسياً واطناً كذلك ، ويجاول هذا الفيض موازنة التأثير المولد للتوزيع غير المنتظم ، وهذه الوسيلة يمكن الحصول على شروط التوازن . ومع ذلك فإن التأثير الكلي هو محاولة التيار السريان قرب سطح الموصل ، ويدعى ذلك بالتأثير السطحي . تزداد المقاومة الظاهرة للموصل بسبب تحديد التيار بمقطع اصغر من الموصل ، وتلاحظ هذه الزيادة بصورة اكبر في الموصلات السمكية وعند الترددات العالية (اذ تكون سرعة تغير الربط الفيضي عالية) ، ويساوي ذلك في الاهمية ان تصبح المقاومة معتمدة على التردد .

وغالباً مايستعمل سلك من نوع خاص في الملفات لحفض التأثير القشري ، ويدعى هذا بـ "Litzendraht" (او باختصار سلك لتز) ويصنع هذا السلك من اسلاك مجذولة وممزولة عن بعضها وتلف بطريقة تكون فيها كل جذلة متبادلة الموضع بين المركز والحافة الخارجية . وعلى طول السلك ، كما في الشكل 3.14 (ب) وتملك كل جذلة بهذه الطريقة ق . د . ك . ك متساوية اذ يجاول التيار ان يكون متناسقاً على طول المقطع العرضي الكامل (المكون من عدة مقاطع للجذلات المفردة) .



(أ)



(ب)

شكل 3:14 (أ) خطوط الفيض المغناطيسي في الموصل (ب) سلك ليزر (Litz).

3.11 الحثية المتبادلة :

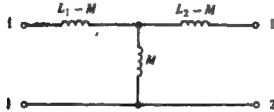
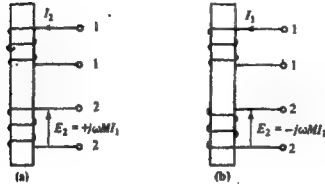
يمكن حدوث رد فعل بين الدوائر الحثية التي تكون معزولة فيزيائياً نتيجة خطوط الفيض المغناطيسي المشتركة . يمكن أخذ هذا التأثير بنظر الاعتبار بواسطة الحثية المتبادلة M . فإذا تغير التيار I_1 ، في الحثية L_1 المربوطة باقتران مغناطيسي مع حثية L_2 ، فيمكن إعطاء الد.ق. د.ك. الحثية في L_2 بواسطة .

$$E_2 = \pm j\omega M I_1 \quad (3.83)$$

تعتمد الإشارة المستعملة على الموقع الفيزيائي للملفات ، وهذا ماوضح في الشكلين 3.15 (أ) و (ب) . مع ملاحظة عدم امكانية معرفة M من اللفائف فيزيائياً كما في حالة L_1 و L_2 ، ويمكن تحديدها بواسطة القياس . وقد برهن في الناحية العملية سهولة تحديد ما يدعى بعامل الاقتران K . اذ تكون :

$$M = K \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (3.84)$$

وتتراوح قيمة K بين الصفر والواحد .



شكل 3.15 الاقتران الحثي المتبادلي موضعاً الاقطاب المحتملة (أ) و (ب) و (ج) دائرة ال ac المكافئة .

يوضح الشكل 3.15 (ج) دائرة مكافئة مفيدة للاقتران الحثي - المتبادلي لحالة $+j\omega M$. ويمكن التعرف على النهايات 1-1 و 2-2 بالنهايات العائدة في الشكل 3.15 (أ) . مع ملاحظة ان الدائرة المكافئة تكون صحيحة في حالات ال ac فقط . ومن الواضح أن مسار ال dc غير موجود في الدائرة الحقيقية . وعند وجود المحاثة المتبادله بين موصلين مربوطين على التوالي ، تعطي معادلة التوالي المؤثرة بواسطة :

$$L_s = L_1 + L_2 + 2M \quad (3.85)$$

وفي حالة ربطها على التوازي ، تعطي معادلة التوازي المؤثرة بواسطة :

$$L_p = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M} \quad (3.86)$$

ويمكن خفض المعادلتين (3.85) و (3.86) الى المعادلتين (3.27) و (3.33) عندما تكون M صفراً ، وباستخدام الحائة المتبادلة بين الملفين ، يمكن تمير الحائة المؤثرة في خطوات بواسطة عمل توصيلات مناسبة ، من القيمة السفل L_{min} الى القيمة العليا L_{max} ، اذ .

$$L_{min} = \frac{L_1 \cdot L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M} \quad \dots (3.87)$$

$$L_{max} = L_1 + L_2 + 2M \quad \dots (3.88)$$

والاكثر من ذلك ، اذا جعلت M متغيرة مثلاً ، يمكن الحصول على حائة متغيرة بصورة منتظمة بواسطة تغير المسافة الفيزيائية بين الملفات .

3.12 دوائر الاقتران

يتطلب انتقال الاشارة من دائرة الى اخرى غالباً الى دائرة اقتران بدلا من الربط المباشر . يستخدم بصورة واسعة اقتران المحولة التي نسفل نأير الحائة - المتبادلة ، ويمكن شرحها بصورة مستفلة في مجالين واسعين : (1) مجال الترددات الواطئة (ترددات القدرة والتردد المسموع مثلاً) و (2) مجال الترددات العالية (الترددات الراديوية مثلاً) . ان التفاصيل العملية لهذه الدوائر مختلفة بصورة كبيرة عما يتطلب طرقاً مختلفة في تحليلها . على الرغم من اعتماد الطريقتين على الاقتران الحثي التبادلي .

محولات التردد الواطيء :

يربط الفيض المغناطيسي Φ بإجمعه والناتج من الامبير - لفة للابتدائي مع لفيفة الثانوي (او لفائف الثانوي ، اذا وجد اكثر من لفة واحدة) وذلك في حالة محولة التردد الواطيء المثالية . يمكن اجمال هبوط الفولتية في لفائف الابتدائي والثانوي . في الحالة النموذجية كذلك . كما يمكن اجمال فقد القدرة في اللب المغناطيسي .

تكون فولتية الابتدائي المسطحة V_p ، تحت هذه الظروف ، مساوية للـ ق. د. ك. المحتة في لفيفة الابتدائي ذات N_p لفة التي نعطي حسب قانون فارادي في الحث المغناطيسي .

$$V_p = N_p \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad \dots(3.89)$$

وبصورة مشابهة ، وباهمال هبوط الفولتية في لفيفة الثانوي ، تكون الـ ق. د. ك. المحتة في الثانوي E_s ، مساوية لفولتية نهاية الثانوي V_s . اذ أن :

$$V_s \approx E_s = N_s \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad \dots(3.90)$$

ويتبع ذلك اذن أن يكون .

$$n = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad \dots(3.91)$$

اذ ان $(n = \frac{N_p}{N_s})$ وتمثل نسبة اللفات .

وعند تحميل الثانوي بحيث يسحب تيارا I_s . فيجب أن يتوازن الامبير - لفة للثانوي $N_s I_s$ للامبير - لفة في الابتدائي $N_p I_p$ (والا نتج من عدم التوازن تغيراً في التيار المحتث في الاتجاه الذي يعيد التوازن) . ويتبع ذلك :

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$= \frac{1}{n} \quad \dots(3.92)$$

وبصورة واضحة ، يكون $V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$ من المعادلتين (3.91) و (3.92) المتوقعة في الحالة النموذجية .

يمكن نقل الحمل Z_L المربوط بالثانوي الى جهة الابتدائي بشكل Z_L بالطريقة الآتية . يكون حمل الثانوي الموضح في الشكل 3.16 (أ) هو :

$$Z_L = \frac{V_s}{I_s} \quad \dots(3.93)$$

ويكون الحمل كما يرى بين نهايتي الابتدائي هو :

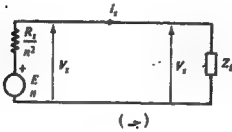
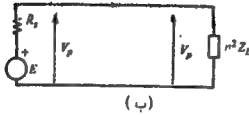
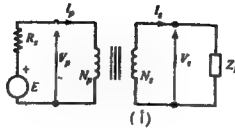
$$Z_L' = \frac{V_p}{I_p} \quad \dots(3.94)$$

وبتعبير V_p و I_p من المعادلتين (3.91) و (3.92) ، واستخدام العلاقة في المعادلة (3.93) و (3.94) يمكن تحويل Z_L' الى :

$$Z_L' = n^2 Z_L \quad \dots(3.95)$$

وتكون هذه العلاقة صحيحة الى حد ما في الحسابات العملية و يمكن اثبات فائدتها على الرغم من اعتادها على الحالات النموذجية .

وباستخدام الحجة نفسها ، يمكن تحويل مصدر فولتية الـ ق . د . ك (E) والمقاومة الداخلية R_s الى الثانوي بحيث يظهر الحمل مزوداً من مصدر ق . د . ك بقيمة $\frac{E}{n}$ ، ومقاومة داخلية $\frac{R_s}{n^2}$ ، كما في الشكل 3.16 (ج) .



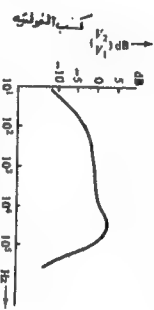
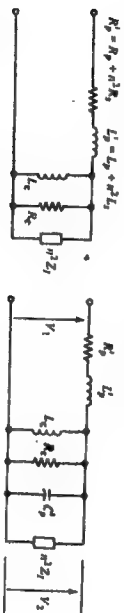
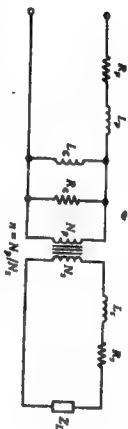
شكل 3.16 . محولة نموذجية للتردد - الواطية . (أ) الدائرة (ب) الدائرة بالنسبة للابتدائي (ج) الدائرة بالنسبة للثانوي .

يوضح الشكل 3.17 (أ) نموذجاً لدائرة محولة عملية للتردد - الواطية ، ففي المحولة العملية ، تكون هناك حاجة الى تيار ابتدائي صغير للحصول على الفيض المغناطيسي في اللب . ويمكن تمثيل هذا بمحثة L_s على التوازي مع الابتدائي في النموذجي ، كما ان هناك تياراً - دوامياً وفقد التخلقية في اللب . تعتمد هذه الفقدود على فولتية الابتدائي ولا تعتمد على قيمة التيار . يمكن تمثيلها بمقاومة R_c على التوازي مع الابتدائي النموذجي . تملك كل لفيفة مقاومة اومية التي تمثل بـ R_p للابتدائي و R_s للثانوي . تولد كل لفيفة تحمل تياراً كمية معينة من الفيض المغناطيسي التي لاتربط مع اللغائف الاخرى ، ويدعى هذا بالفيض التسري "Leakage flux" ويمثل تأثيره بالمحاثتين L_s و L_p .

ويمكن إعادة رسم الدائرة المكافئة للشكل 3.17 (أ) مع ادخال كافة العناصر نسبة الى احدى جهتي الابتدائي أو الثانوي ، كما ذكر سابقاً . ويوضح الشكل 3.17 (ب) الدائرة العائدة الى الابتدائي .

ومن الضروري اخذ المتسعة الذاتية للفائف والمتسعات المتبادلة بينها بنظر الاعتبار عند الترددات العالية ويوضح الشكل 3.17 (جـ) الدائرة المكافئة العائدة الى جهة الابتدائي مع اخذ C_p^1 بنظر الاعتبار والتي تساوي التأثيرات السمية كافة . كما يوضح الشكل 3.17 (د) منحنى كسب الفولية مقابل التردد للمحولة . يحدث انخفاض في الكسب عند الترددات الواطئة بسبب L_a . اذ تظهر L_a و C_p^1 دائرة رنين توازي عريضة الاستجابة (عامل جودة منخفض) . بينها يمل تأثير C_p^1 دائرة رنين توازي عريضة الاستجابة (عامل جودة منخفض) . بينها يمل تأثير L_a . يكون منحنى الاستجابة مسطحاً بصورة معقولة في مجال حزمة الوسط . وتظهر L_a و C_p^1 عند الترددات العالية دائرة رنين توازي منتجة ذروة في منحنى الاستجابة . ويسبب تأثير C_p^1 بعد هذه النقطة في انخفاض الكسب .

يجب التذكير ان المصطلح المكافئة تكون صحيحة في اشارات الـ ac فقط ، ولا يمكن استعمالها عند تحليل موجات الـ dc مثلاً .

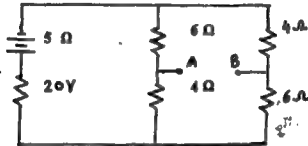


تردد (دستای لولغا ریښی)
 شکل 3.17 (أ) دائرة مكافئة لمحول صليبي (ب) نسبة إلى الابتدائي (ج) نسبة إلى
 الابتدائي مع أخذ التخميد الاعتبار. (د) استجابة التردد.

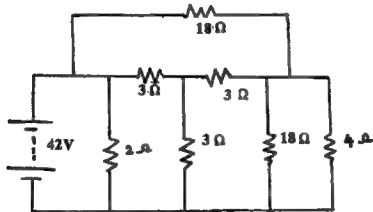
اسئلة الفصل الثالث الدوائر الكهربائية

مسائل

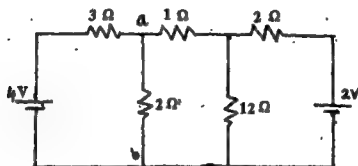
- 1 - للشبكة المبينة في الشكل ادناه احسب فرق الجهد بين النقطتين A ، B ،
ثم احسب مقدار واتجاه التيار الذي يمر في المقاوم 3.1 اوم المربوط بين
B ، A .



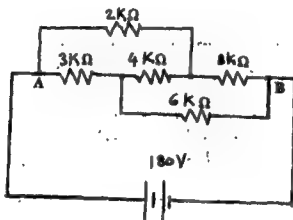
- 2 - احسب تيار البطارية والتيار في المقاوم 4 اوم في الشبكة الكهربائية
المبينة في الشكل ادناه .



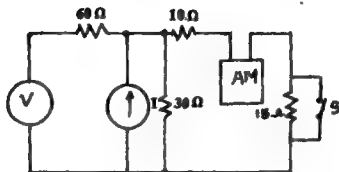
- 3 - مستخدماً نظرية التراكيب ، اوجد التيار المار في الفرع ab في الشبكة الكهربائية المبينة .



- 4 - جد التيار الذي يمر في المقاومة $4k\Omega$ في الشبكة الكهربائية المبينة بتطبيق نظرية ثقتن .



- 5 - فولتية الدائرة المفتوحة لمولد ذبذبة سمعية تساوي 5 فولت ، وعندما يوصل مولد الذبذبة الى مقاومة 2000Ω أوم تنخفض الفولتية بين طرفي المولد الى 4 فولت . ماهي قيمة المقاومة الداخلية للمولد .
- 6 - في الشكل المبين يقرأ الاميتر (AM) 3 امبير عندما يكون المفتاح S مغلقاً ماهي قراءة الاميتر عندما يكون المفتاح S مفتوحاً .

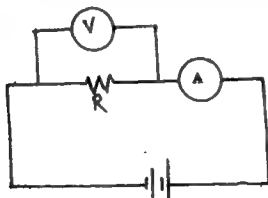


7 - سجلت قراءات الكميات الخارجة لمولدين وكانت كالتالي .

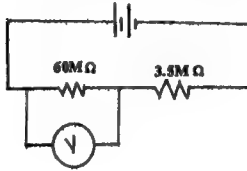
$I(A)$	0	25	50	75	100
$V_1 (V)$	120	119	117	113	105
$V_2 (V)$	120	118	113	105	90

ثم ربطت المولدين على التوازي لتغذية حمل مقاومته 1 أوم ارسم الخواص (منحني I مع V) ثم احسب التيار والقدره الخارجة من كل مولدة على حدة بطريقة تخطيطية .

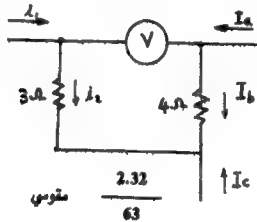
8 - اذا علمت ان قراءة الفولتميتر في الدائرة المبينة في الشكل كانت 60 فولت وان قراءة الاميتر كانت 90 ميكروامبير . فما قيمة المقاومة R علماً بأن مقاومة الفولتميتر 2×10^6 اوم .



- 9 - ربط فولتيمتر مقاومته 2 ميجا أوم في الدائرة المبينة في الشكل ف سجل قراءة قدرها 15 فولت احسب
 أ - القوة الدافعة الكهربائية للمصدر
 ب - القدرة التي يزودها المصدر للدائرة .

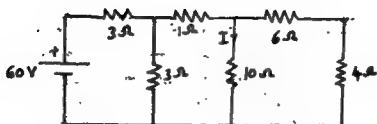


- 10 - في الشكل ادناه $I_a = -4A$ ، $I_b = +1A$ ، $V = 18V$ ، اوجد i_1 ، i_2 ، I_b

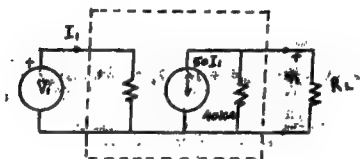


- 11 - اوجد التيار I في الشبكة السمية المبينة باستخدام الطريقة التالية :

افرض ان التيار يساوي 1A ثم احسب بطريقة عكسية فولتية المصدر اللازمة لذلك وبالتالي يمكن حساب I بمطابقة تناسب بسيطة .



12 - في الشكل يمثل الجزء المظلل نموذج دائرة لتقارنستر. لاحظ ان $50I_1$ هو قيمة مصدر التيار استبدل الدائرة بمكافئ نورتن ثم احسب كسب الفولتية $\frac{V_0}{V_1}$ عندما تكون $R_2 = 3k\Omega$.



أَجْهَزةُ قِياسِ التِّيارِ المُستَمرِّ

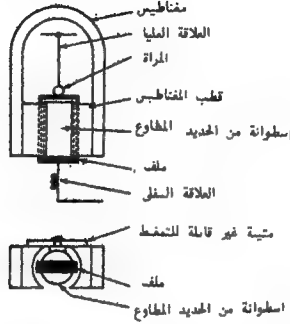
يُمكننا بِوِاسِطةِ أَجْهَزةِ القِياسِ مَعْرِفَةَ قِيميَةِ الكِميَّاتِ الكِهرَبائيَّةِ بِصُورَةٍ مُباشِرةٍ وَذلكَ بِمُؤَشِّرِ القِياسِ عِندَ أَجْراءِ القِياسِ أَوْ قِراءةِ رَقْمِ يَوضَحُ قِيميَةَ الكِميَّةِ بِصُورَةٍ مُباشِرةٍ . أَوْ مِنْ لُوحَةِ الرِّسْمِ الِإِلِكْترُونِيِّ ... وَغَيرِها وَهناكَ أَسْاسُ كَثِيرَةٌ لِإِشْغالِ المُقايِيسِ الكِهرَبائيَّةِ يَعمَدُ قِسمٌ مِنْها عَلى تَأثيراتٍ مُغناطِيسِيَّةٍ أَوْ كِهرَبائيَّةٍ مُغناطِيسِيَّةٍ أَوْ تَأثيراتٍ فِيزِياوِيَّةٍ أُخْرى وَعادَةً تُؤَشِّرُ قِياسُ كِميَّاتِ التِّيارِ أَوْ الفولْتيَّةِ أَوْ المُقاوِمَةِ إلَى غَيرِ ذلكَ مِنْ الكِميَّاتِ الكِهرَبائيَّةِ .

4.1 الكِلْفانُومِيتَرُ :

هُوَ الجِهازُ الَّذِي يَستَخدَمُ لِلِكْشَافِ عَنِ التِّيارِ أَوْ لِقِياسِ كِميَّتِهِ وَالِإِستِخدامِ الأَوَّلِ هُوَ الشَّائِعُ خَاصَّةً عِندَ اسْتِعمالِ الجِهازِ فِي القِناطِرِ الكِهرَبائيَّةِ أَوْ فِي الجِهادِ الكِهرَبائيِّ حَيْثُ يَكُونُ الفُرضُ مِنْ اسْتِخدامِ الكِلْفانُومِيتَرِ هُوَ الحِصُولُ عَلى حَالَةٍ التَّعادلِ وَلا يُنْظَرُ عِندَ ذلكَ إلَى قِيميَةِ التِّيارِ .

تَعمَدُ أَغْلَبُ أَجْهَزةِ الكِلْفانُومِيتَرِ فِي أدائِها عَلى العِزمِ الزَّاوِيِّ الَّذِي سَبَبُهُ مَرورُ التِّيارِ فِي مَلْفٍ يَقعُ فِي مِجالٍ مُغناطِيسِيِّ دَائِمٍ وَأَنْ أَشْهَرَ أَنْواعِ الكِلْفانُومِيتَرِ هُوَ النُّوعُ المَعلُوقُ وَالشَّكْلُ (4.1) يَبيِّنُ تَكوِينَهُ وَأَجْزاءَهُ الرَّئِيسِيَّةَ .

يَتكوَّنُ الجِهازُ مِنْ مَلْفٍ مُصنَّوعٍ مِنْ سَلَكٍ رَقيقٍ مَعلُوقٍ فِي مِجالٍ مُغناطِيسِيِّ يُولِيهُ مُغناطِيسٌ دَائِمٌ وَبِجُوبِ القَوائِنِ الكِهرُومُغناطِيسِيَّةِ فَانْهُ نَتِيجَةُ لِمَروَرِ تِيارٍ فِي المَلْفِ الكائِنِ ضَمْنَ المِجالِ المُغناطِيسِيِّ تُؤثِّرُ قُوَّةُ تَدَوُّرِ المَلْفِ ثَمَّ يَثْبِتُ عِندَما



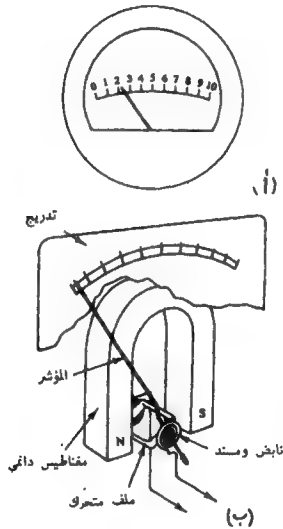
الشكل 4.1 يبين اجزاء الكلفانوميتر المتحرك الملف للتيار المستمر.

تتبادل مع القوة الميكانيكية للناض ، لذا فإن انحراف الملف دليل على كمية التيار المار به . وللناض واجب آخر فضلاً عن معادلة قوة دوران الملف الا وهو امرار التيار الكهربائي ايضاً . وكما يلاحظ من الشكل يمكن ملاحظة شدة التيار المقاس من حركة البقعة المضيئة التي تنعكس من المراة المثبتة على الملف وإن هذه الحركة تقابل دوران المؤشر الاعتيادي الا أن البقعة أفضل من المؤشر لانعدام وزنها . ولا يزال جهاز الكلفانوميتر مستخدماً حتى الآن في بعض المختبرات بسبب حساسيته العالية . أما مساوئه فهي صعوبة الاستخدام والتحرك في امكان الى آخر ويحتاج الى مدة كبيرة لتهيئته للعمل .

4-2 انحراف الكلفانوميتر والحساسية :

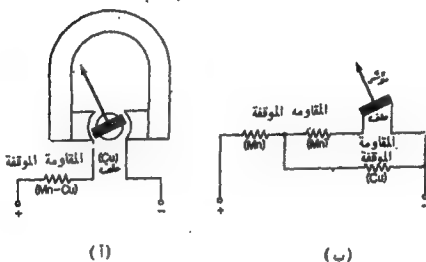
على الرغم من ان جهاز الكلفانوميتر غير مستخدم الا أن المتطور منه والذي يسمى بجهاز الملف المتحرك في مجال ثابت Permanent Magnet

Moving Coil والمسمى احيانا بجهاز (دي ارستفال D'Arsonval) نسبة الى العالم الذي أوجده والموضح في الشكل (4.2) حيث هناك ملف معلق في مجال مغناطيسي ويمكن ان يتحرك بحرية في المجال المغناطيسي . فعندما يمر تيار في الملف يتولد عزم كهرومغناطيسي يعمل على تدوير الملف ثم تتوازن هذه الحركة بنابض حلزوني متصل بالملف ويتحرك المؤشر فوق تدريج ثم يعود للصفر عند زوال التأثير الكهرومغناطيسي سبب استعادة النابض الحلزوني للمزم الذي اختزنه عند دوران المؤشر .



الشكل 4.2 بين مكونات جهاز دي ارستفال ذو الملف المتحرك .

ويلاحظ من الشكل (4.2) وجود اثنال مشبته على المؤشر لجعل حركة المؤشر بطيئة ومننتظمة واكثر استقراراً حيث بدونها سوف يقفز المؤشر مرة واحد الى قيمة التيار ولا يمكن الثبوت عند تلك القيمة بسبب القصور الذاتي الذي سببته حركة المؤشر السريعة وعندها يقوم المؤشر بالتذبذب عند تلك القيمة التي يستقر فيها وربما يستغرق ذلك مدة طويلة من الزمن . ويمكن استخدام معوقات اخرى لتنظيم حركة المؤشر وتجعله يشبث في زمن قصير كمخمدات الحركة الزعنفية او الموقفات الحرارية او المغناطيسية والمبينة في الشكل (4.3) .



الشكل 4.3 ربط الموقفات الحرارية للسيطرة على حركة المؤشر وتثبيته برمن مصر
 أ - دائرة بسيطة المقاومة الموقفة على التوالي
 ب - دائرة منظورة المقاومات ربط محتلط

قانون عزم الدوران :

$$T = BAIN \quad (4.1)$$

اذ تمثل T العزم ووحدته هي نيوتن - متر وتمثل B كثافة التدفق المغناطيسي ووحدتها وبر / متر مربع و A مساحة الملف ووحدته متر مربع و I تيار الملف ووحدته الامبير و N عدد لفات الملف .

ويلاحظ من القانون بأن عزم دوران الملف يتناسب مع التيار $I \propto T$ لأن باقي الكميات ثابتة .

وبما أن عزم دوران النابض يتناسب مع زاوية المؤشر وأن عزم دوران النابض يعادل عزم دوران الملف . $I \propto \theta$.

أي أن زاوية دوران المؤشر تحدد قيمة التيار. وأن تدرج المقياس يكون منتظم القراءات .

4.2.1 حساسية الكلفانوميتر :

إن حساسية الجهاز هي نسبة المدى الذي يتحركه المؤشر مقاساً بالملتر إلى قيمة القراءة الحقيقية سواء أكانت تياراً أو فولتية أو غير ذلك . ويمكن تعريف حساسية التيار بالمعادلة :

$$S_I = \frac{d}{I} \quad (4.2)$$

حيث S_I حساسية التيار ووحدتها مللتر لكل أمبير أو لكل مايكرو أمبير و d مقدار انحراف المؤشر و I قيمة التيار بالأمبير أو المايكروأمبير . وكذلك الحال بالنسبة إلى حساسية الفولتية .

$$S_V = \frac{d}{V} \quad (4.3)$$

مثال : 4.1

في مقياس الكلفانوميتر ، كان تيار أقصى انحراف مار في الملف يساوي 1.2 ميكروأمبير احسب حساسية التيار عندما يكون الانحراف المؤشر 75 ملم و 150 ملم على التعاقب

الحل :

من تعريف حساسية التيار :

$$S_I = \frac{d}{I}$$

ففي الحالة الاولى تكون قيمة الحساسية :

$$SI_1 = \frac{75}{1.5} = 50 \text{ mm} / \mu\text{A}$$

وفي الحالة الثانية تكون قيمة الحساسية :

$$SI_2 = \frac{150}{1.5} = 100 \text{ mm} / \mu\text{A}.$$

مثال : 4.2

كثافة التدقيق في الفجوة الكهربائية بين قطبي المغناطيس الدائم في جهاز قياس التيار 0.1 وبيبر/ متر مربع وابعاد الملف المنطيل هي 1X0.8 سنتمتر وبعدد من اللفات يساوي 50 لفة . احسب العزم اللازم ليقراً المقياس اقصى قراءة له (0.1 ملي امبير) علماً بان عزم الانحراف ذو سيطرة نابضية .

الحل :

باستخدام العلاقة : (4.1)

$$T = BAIN$$

ويعتوض القيم المعطاة نحصل على :

$$T = 0.1 \times 0.8 \times 1.0 \times 10^{-4} \times 0.1 \times 10^{-3} \times 50 \\ = 4 \times 10^{-8} \text{ N-m}$$

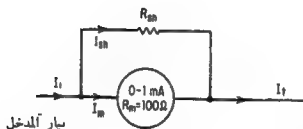
4.3 مقياس التيار المستمر :

يعتمد عمل معظم مقاييس التيار المستمر على اساس واحد وهو اساس اشتغال المحرك الكهربائي حيث أن الملف الكائن في مجال مغناطيسي دائم يشرع بالدوران عند مرور تيار في ملفاته ويدعى ذلك كما لاحظنا سابقا بكلفانوميتر

نوع دي ارسنغال . وان هذا الاساس يختلف تماما عن المقاييس الالكترونية والتي سيتم شرحها في فصول لاحقة .

ويمكننا تحويل هذا المقياس الاساسي الى مقياس تيار او فولتية او مقاومة او الى مقياس متعدد القراءات . ونظراً لما لهذا المقياس من تحمل محدود للتيار بسبب دقة اسلاك الملف ولجعل المقياس يقوم بقراءة تيارات عالية نضيف مقاومة على التوازي (مجزء مقاومي) مع الملف لتدمير نسبة عالية من التيار المراد قياسه وتبقى القيمة التي يتحملها المقياس تمر في الملف كما موضح في الشكل (4.4) فمثلاً اذا اردنا جعل مقياس (مقاومة ملفه 100 اوم وتياره 0.001 أمبير لقياس التيارات من الصفر الى 1.0 أمبير فبحسب حرف 0.999 أمبير او 999 ملي أمبير عن المرور خلال الملف وذلك باستخدام المقاومة المجزئة R_{sh} وجعل القيمة المتبقية من التيار 0.01 أمبير فقط تمر من خلال الملف لكي يقوم المقياس بقراءة أقصى تدريج له . وبلاحظ من الشكل بأن المقاومة المجزئة والملف يربطان على التوازي . علته فإن الفولتية عبرها متساوية وان قيمة المهبوط في الفولتية عبر مقاومة الملف والمقاومة المجزئة تساوي $IR = I_m A \times 100 = 100mV$ وعلى هذا الاساس فإن قيمة المقاومة المجزئة يحددها مرور 999 ملي أمبير فيها وعلى أن تكون الفولتية الناتجة من ذلك 100 ملي فولت او 0.1 فولت . وعليه فإن حساب قيمة R_{sh} يكون .

$$R_{sh} = \frac{E}{I} = \frac{0.1 \text{ V}}{0.999 \text{ A}} = 0.1 \Omega$$



النكل 4.4 ربط المجزئة مع الملف المتحرك لتحويله الى أمبير فقرأ 0-1A

وتكون النتيجة هي أن مرور التيار مقداره 1000 ملي أمبير في الدائرة يعني مرور 999 ملي أمبير خلال المقاومة المجزئة و 1 ملي أمبير خلال ملف الجهاز حيث سيؤشر مؤشر المقياس أقصى تدرج له ومقداره 1000 ملي أمبير .

يمكن الحصول على قيمة المقاومة المجزئة R_{sh} المطلوبة لمدى آخر من القراءة من العلاقة الأساسية لتقسيم التيار المبينة على الحقيقة المعوفة وهي أن التيار الأقل لمقاومتين متوازيتين يمر في المقاومة الأكبر ويمكن أن يكون التعبير الرياضي الآتي حيث أن I_m هي تيار المقياس و I_t هي التيار الكلي :

$$I_m = I_t \left(\frac{R_{sh}}{R_m + R_{sh}} \right) \quad (4.4)$$

وبالتعويض للقيم التي ذكرت في المثال السابق نلاحظ أن :

$$\frac{1}{1000} = 1 \left(\frac{R_{sh}}{100 + R_{sh}} \right)$$

$$\begin{aligned} 1000 R_{sh} &= 100 + R_{sh} \quad \text{حيث} \\ 999 R_{sh} &= 100 \end{aligned}$$

ومنها نحصل على :

$$R_{sh} = \frac{100}{999} = 0.1 \Omega$$

ونتيجة لذلك فإن المقاومة 0.1 أوم المربوطة عبر المقياس سوف تغير قراءة أقصى تدرج من ملي أمبير الأصلية إلى 1 أمبير . وكذلك يمكن معرفة مديات لتيارات أخرى بأبدال قيمة المقاومة المجزئة أو ادخالها للدائرة بواسطة مفتاح خاص .

مثال : 4.3

مقياس في نوع ذي الملف المتحرك مقاومته الداخلية 100 أوم وتياره 1 ملي أمبير يطلب تحويله الى أميتر يقرأ من الصفر الى 100 ملي أمبير . احسب قيمة المقاومة المجهزة اللازمة لذلك .

الحل :

بتطبيق العلاقة السابقة (4.4)

$$I_m = I_t \left(\frac{R_{sh}}{R_m + R_{sh}} \right)$$

$$1 = 100 \left(\frac{R_{sh}}{100 + R_{sh}} \right)$$

$$R_{sh} = 1.01 \Omega$$

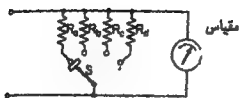
ومن الجدير بالذكر أن نذكر هنا ان المقاومة المجهزة يجب أن تكون ذات تحمل عالٍ للتيار وان تكون مقاومتها ثابتة رغم تغير الحرارة بسبب مرور التيار خلالها . لذا تصنع من مادة المنغنيز او الكونستانان ذات المقاومة العالية جداً .

مقاومة ايرتون المجهزة : Ayrton Shunt

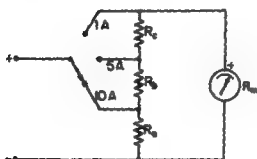
يمكن زيادة قيمة التيار المستمر المار في المقياس بعدد من المرات وذلك باستخدام عدد من المقاومات المجهزة والتي يتم اختيارها بمفتاح دوراني ، يمين الشكل (4.5) مخططاً توضيحياً لمقياس التيار المتعدد المديات . تحوى الدائرة

اربع مقاومات R_d ، R_c ، R_b ، R_a

والتي يمكن ان توضع على التوازي مع الملف المتحرك ليمطي اربع مديات مختلفة بالمفتاح S الذي يغلق قبل ان يفتح لكي لا يمطب الملف غير المحمي في الدائرة . ان جهاز ايرتون العام يقضي على امكانية تكوين مقياس بدون مقاومة عرضية وان هذه الفائدة تأتي على حساب مقاومة كلية اعلى قليلاً . ويساعد هذا الجهاز في تطبيق نظريات واسس الدوائر في الدوائر العملية .



شكل 4.5 مقياس تيار متعدد المديات .



الشكل 4.6 قيم المقاومات للمثال 4.4 .

مثال: (4.4)

صمم جهاز ايرتون العرضي لتكوين اميتر يحوي المديات 1A و 5A و 10A علماً بان المقاومة الداخلية للملف دى ارسنقال الدوار $R_m = 50 \Omega$. وان انحراف تيار التدرج الكامل هو 1mA كما في الشكل (4.6) .

الحل :

تكون المقاومات $R_m + R_b + R_c$ في المدى 1 امبير على التوازي مع المقاومة $R_m = 50 \Omega$ وبما ان الملف المتحرك يحتاج 1mA لانحراف تدرج كامل فإن المقاومة العرضية اللازمة لتمرر التيار $1A - 1mA = 999mA$ وباستخدام فولتية التوازي الثابتة نحصل على :

$$R_m + R_b + R_c = \frac{1 \times 50}{999} = 0.05005 \dots \Omega$$

وفي المدى SA تكون المقاومتان $R_a + R_b$ على التوازي مع المقاومتين R_m و $R_c + R_e$ وفي هذه الحالة هناك تيار 1mA خلال الملف المتحرك والمقاومة R_c على التوالي. والتيار $4,999\text{mA}$ خلال $R_a + R_b$ باستخدام فولتية التوازي مرة أخرى نحصل على :

$$R_a + R_b = \frac{1 \times (R_c + 50)}{4,999} \quad \dots \text{II}$$

وعلى المدى 10A فإن R_a تعمل كمقاومة على التوازي مع الملف وإن $R_c + R_e$ فانها على التوالي مع الملف . وإن التيار خلال الملف هو 1mA والتيار العرضي الباقي الذي سيمر هو 9.999mA باستعمال فولتية التوازي نحصل على :

$$R_a = \frac{1 \times (R_b + R_c + 50)}{9,999} \quad \dots \text{III}$$

وبحل المعادلات الثلاثة I و II و III نحصل على :

$$4,999 \times (I) : 4,999 R_a + 4,999 R_b + 4,999 R_c = 250.2$$

$$(II) : 4,999 R_a + 4,999 R_b - R_c = 50$$

وبطرح II من I نحصل على :

$$500 R_c = 200.2$$

$$R_c = 0.04004 \Omega$$

وبشكل مشابه :

$$9,999 \times (I) : 9,999 R_a + 9,999 R_b + 9,999 R_c = 500.45$$

$$\text{III} : 9,999 R_a - R_b - R_c = 50$$

بطرح III من I نحصل على :

$$10,000 R_b + 10,000 R_c = 450.45$$

بتعويض قيمة R_c التي حصلنا عليها سابقاً في هذا التعبير ينتج :

$$10,000 R_b = 450,45 - 400,4$$

$$R_b = 0.005005 \Omega$$

$$R_a = 0.005005$$

إن هذه الحسابات توضح أن المقاومة العرضية يمكن أن تكون أصغر عندما يكون التيار أعلى وبشكل عام فإن مقياس التيار d.c يمكن أن يوجد في مديات كثيرة من $20 \mu A$ الى $50 A$ تدرج كامل لمقياس واحد وحقى لغاية $500 A$ مع مقاومات عرضية خارجية .

ويجب أخذ التحاذير الآتية بنظر الاعتبار حين استخدام مقياس التيار في القياس .

أ - يجب عدم ربط المقياس عبر مصدر فولتية بسبب مقاومته الداخلية .
الواطنة لأن الجهاز سيحب تياراً عالياً يؤدي الى تلف ملفاته . لذا يجب

ربط مقياس التيار على التوالي مع حمل مناسب لتحديد قيمة التيار .
ب - لاحظ القطبية الصحيحة علماً بأن عكس القطبية يؤدي الى حركة أجزاء المقياس ضد الموقف الميكانيكي وهذا يسبب عطب الجهاز او انحرافاً في المؤشر .

ج - عند استعمال مقياس التيار المتعدد المديات ، استخدام التدرج العالي أولاً ثم قلل مدى التيار الى أن تحصل على انحراف مناسب للمؤشر ثم استخدم المدى الذي يجعل المؤشر قريباً من قراءة أعلى مدى من ذلك التدرج .

4.4 مقياس فولتية d.c :

كما ذكرنا سابقاً بأن فكرة مقياس الفولتيات المختلفة يمكن أن تتحقق باستخدام المقياس الاساسي نوع الملف المتحرك دي ارسنغال باضافة مقاومات على التوالي مع ملف المقياس ذات قيم تتناسب وقيمة الفولتية المراد قياسها ويتم إيجاد قيمة هذه المقاومة من معرفة الحساسية والتي تعرف عادة بالاوام لكل فولت وتكون قيمة الحساسية $20,000$ للمقياس الذي مداه من الصفر الى 50 ميكرو

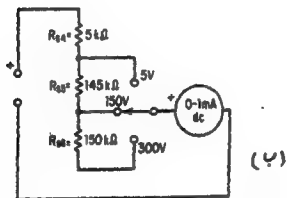
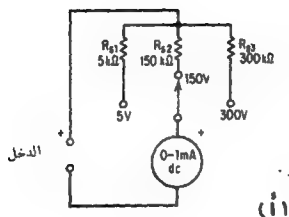
أمبير حيث أن الحساسية تعادل مقلوب المدى . وعلى هذا الأساس فإن المقياس الذي يقرأ من الصفر إلى 1 ملي أمبير يعني أن المقياس يتحمل 20 مرة أكثر من المقياس الذي تحمله 50 ميكروأمبير وعليه فإن حساسيته تكون عشرون مرة أقل

$$\frac{1}{20} \times 20,000 = 1000 \text{ } \Omega / \text{V} \quad \text{أي}$$

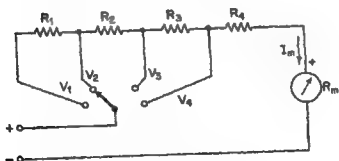
ولو بدأنا الآن بالمقياس الاساسي الذي تدريجه من الصفر إلى 1 ملي أمبير ومقاومته 100 أوم والذي ذكر في الفقرة السابقة فإن الجهاز إذا استخدم لمقياس فولتية سيكون أقصى تدرج له 100 ملي فولت لأنها تساوي $100\text{V} \times 1\text{mA}$ وبدون اضافة لأي مقاومة على التوالي سيكون مثل هذا المقياس للفولتية محدود الاستخدام جداً بسبب مقاومة دخله الواطئة وقيمتها 100 أوم ولذا فإنها ستسحب معظم تيار الدائرة . وعليه فإن المقاومة المناسبة للجهاز عند تحويله من مقياس تيار ذي مدى يتراوح بين الصفر إلى 1 ملي أمبير إلى فولتميتر يقرأ من الصفر إلى 5 فولت هي :

$$R_1 = \frac{5 \text{ V}}{1 \times 10^{-3} \text{ A}} = 5 \text{ k}\Omega$$

وبما أن مقاومة المقياس 100 أوم قليلة نسبياً بالمقارنة مع 5000 أوم يتمكن استخدام مقاومة ضربية أي التي تربط على التوالي مع المقياس قيمتها $5\text{k}\Omega$ كما مبين في الشكل (4.7) ويمكن أيضاً إيجاد قيمة هذه المقاومة بضرب قيمة حساسية الجهاز $1000\Omega/\text{V}$ بقيمة المدى المطلوب 5V معطية النتيجة $5\text{k}\Omega = R_{s_5}$ كما هي النتيجة السابقة وبالطريقة نفسها إذا كان المدى المطلوب 150V فإن المقاومة الضربية R_{s_3} ستكون $150\text{k}\Omega$ وللمدى 300V فإن قيمة $R_{s_4} = 300\text{k}\Omega$ كما يلاحظ من الشكل (4.7) حيث يمكن اختيار المدى المطلوب بواسطة مفتاح الاختيار الدوار وتصبح قيم المقاومات R_{s_4} , R_{s_3} , R_{s_5} كما موضحة وهي $5\text{k}\Omega$, $145\text{k}\Omega$, $150\text{k}\Omega$ على التعاقب



الشكل 4.7 أ - المقاومات الضريبة بصورة منفردة
 ب - المقاومات الضريبة متراكبة على التوالي



الشكل 4.8 دائره المالح (4.4)

مثال (4.4)

جهاز دى ارسنفال الاساسي فيه المقاومة الداخلية $R_m = 100\Omega$ وتيار التدرج الكامل $I_{Fsd} = 1mA$ يطلب تحويلها الى فولتمتر متعدد المدى :

$$0-500 \text{ V}, 0-250 \text{ V}, 0-50 \text{ V}, 0-10 \text{ V}$$

الدائرة في الشكل (4.8) هي المستعملة لهذا القياس .

المدى $10V$ فإن موقع المفتاح هو في V_4 وان المقاومة الكلية للدائرة هي :

$$R_T = \frac{10 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 10 \text{ k } \Omega$$

$$R_4 = R_T - R_m = 10k\Omega - 100\Omega = 9900\Omega$$

المدى 50 V فإن موقع المفتاح هو في V_3

$$R_T = \frac{50 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 50 \text{ k } \Omega$$

$$R_3 = R_T - (R_4 + R_m) = 50 \text{ k}\Omega - 10 \text{ k } \Omega = 40 \text{ k } \Omega$$

المدى 250 V (موقع المفتاح في V_2)

$$R_T = \frac{250 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 250 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = R_T - (R_3 + R_4 + R_m) = 250 \text{ k}\Omega - 50 \text{ k}\Omega = 200 \text{ k } \Omega$$

وللمدى (500 V) فإن موقع المفتاح (V_1)

$$R_T = \frac{500 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 500 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{aligned} R_1 &= R_T - (R_2 + R_3 + R_4 + R_m) \\ &= 500 - 250 = 250 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

لاحظ في المثال (4.4) أن مقاومة مضاعف القراءة الواطئة المدى (R_4) هي الوحيدة غير قياسية.

4.4.1 حساسية مقياس الفولتية : Voltmeter Sensitivity ووحدها (أوم لكل فولت)

بينما في الفقرة السابقة بأن تيار الانحراف التدرج إلى الكامل I_{fsd} يمكن الوصول إليه في كل مديات الفولتية عند تطبيق فولتية ذلك المدى عليه كما مبين في المثال (4.4) إذ كان التيار 1 mA للفولتيات 10 V و 50 V و 250 V و 500 V عبر طرفي المقياس. وكان مدى الفولتية بنسبة المقاومة الكلية R_T إلى فولتية المدى V هي $\frac{1000 \Omega}{V}$. إن هذا الرقم ينسب عادة إلى الحساسية أو الأوم للفولت المقياس الفولتية. لاحظ بأن الحساسية S هي مقلوب تيار الانحراف للتدرج الكامل في المقياس الاساسي أو :

$$S = \frac{1}{I_{fsd}} \frac{\Omega}{V}$$

يمكن استغلال فكرة الحساسية من حساب مقاومة مضاعف القراءة لمقياس الفولتية، لاحظ الشكل (4.8) حيث :

$S = \text{حساسية الفولتمتر } \Omega / V$
 $V = \text{مدى الفولتية كما توضع بواسطة زر المدبات .}$
 $R_m = \text{المقاومة الداخلية لللف الجهاز (زائداً المقاومات التي تسبق على التوالي)}$
 $R_g = \text{مقاومة مضاعف القراءة .}$
 ولدائرة الشكل (4.8) .

$$S_T = S \times V$$

$$R_g = (S \times V) - R_m$$

وأن استعمال فكرة الحساسية موضح في المثال الآتي :

مثال : (4.5)

أعد المثال السابق الان مستخدماً فكرة الحساسية في حساب المقاومات لمضاعفة القراءة .
 الحل :

$$S = \frac{1}{I_{fsd}} = \frac{1}{0.001} = 1,000 \frac{\Omega}{V}$$

$$R_4 = (S \times V) - R_m = \frac{1000}{V} \times 10V - 100 \Omega = 9,900 \Omega$$

$$R_3 = (S \times V) - R_m = \frac{1000 \Omega}{V} \times 50V - 10,000 \Omega = 40 K \Omega$$

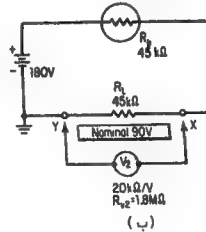
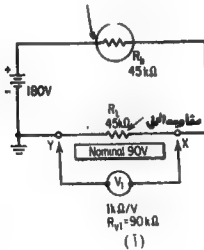
$$R_2 = (S \times V) - R_m = \frac{1000 \Omega}{V} \times 250V - 50 K \Omega = 200 K \Omega$$

$$R_1 = (S \times V) - R_m = \frac{1000 \Omega}{V} \times 500V - 250 K \Omega = 250 K \Omega$$

4.4.2 تأثير التحميل :

يجو مقياس الفولتية على ممانعة ادخال معينة ، ومهما كانت قيمة هذه الممانعة فإنها تؤثر على الدائرة التي سيربط بها المقياس . فإن كان تأثير هذه الممانعة واضحاً فيجب الاهتمام بمثل هذه الحالات والتي تسمى عادة بتأثير التحميل ويزداد هذا التأثير عندما تكون القياسات لدوائر ذات ممانعة عالية او لأية دائرة عندما يكون التيار فيها قليلاً وذلك استناداً الى الحقيقة المعروفة وهو اعتماد اشتغال مقياس الفولتية على استخدام جزء من تيار الدائرة ولما كان تيار مقياس الفولتية قليلاً (لنفرض ١٪ من التيار الاصيل الذي يمر في الدائرة) يمكننا اهمال هذا المقدار . الا أن هناك حالات كثيرة يكون فيها التيار المسحوب من قبل مقياس الفولتية عال نسبياً بالمقارنة مع تيار الدائرة قبل ربط الجهاز وفي هذه الحالات ستكون نسبة الخطأ في قراءة مقياس الفولتية عالية .

المقاومة المكافئة للصحة



الشكل 4.9 تأثير التحميل على قراءة الفولتسر

أ - باستخدام جهاز حساسية $1000 \Omega / V$

ب - باستخدام جهاز حساسية $20 K\Omega / V$

يوضح الشكل (4.9) حالتين من حالات المقياس ، لأيضاح نسبة الخطأ في كل منها حيث سيتم اجراء قياس الفولتية نفسها بجهازين مختلفين في المقاومة الداخلية . فإذا كانت حساسية المقياس في الربط الأيسر هي $1000\Omega/V$ وذلك لقياس الفولتية 90 فولت عبر المقاومة $R_1 = 45k\Omega$ المربوطة على التوالي مع المقاومة المكافئة لأداة الكهرونية R_b وباستخدام المدى 90 فولت لأقصى تدرج (للسهولة) فإن المقاومة الداخلية لمقياس الفولتية تكون $90k$. وعند ربط المقياس عبر نقطتي المقياس x,y فإن قيمة المقاومة المؤثرة عبر النقطتين ستتغير إلى القيمة المكافئة نتيجة ربط $R_1 = 45k\Omega$ على التوازي مع $R_{V_1} = 90k\Omega$ والتي ستكون قيمتها $30k\Omega$ ومن الواضح ان الفولتميتر يسجل القراءة نتيجة الربط الناتج وتكون :

$$V_{xy} = 180 \left(\frac{R_{xy}}{R_b + R_{xy}} \right)$$

$$= 180 \left(\frac{30k\Omega}{45k\Omega + 30k\Omega} \right) = 180 \left(\frac{30}{75} \right) = 72V$$

وتكون هذه القراءة 72 فولت أقل بمقدار 18 فولت عن القيمة الحقيقية 90 فولت وهي الفولتية التي تكون عبر المقاومة $R_1 = 54k\Omega$ قبل ربط جهاز القياس وعليه تكون نسبة الخطأ $= \frac{18}{90} = 20\%$. ويجب ملاحظة ان الخطأ هو نتيجة سوء اختيار نوع المقياس .

وللتأكد من سلامة المقياس وصحة قراءته يمكننا حساب قراءته 72 فولت بتابعة وضعية التيار في الدائرة بعد ربط الجهاز حيث ان تيار الدائرة الأصلي 2 ملي أمبير سيصبح

$$I = \frac{180}{45 + 30k} = \frac{180V}{75k\Omega} = 2.4mA.$$

وباستخدام تقسيم التيار يمكننا إيجاد تيار المقياس I_{V_1} إذ أن :

$$I_{V_1} = 2.4 \text{mA} \left(\frac{45 \text{k}\Omega}{45 \text{k}\Omega + 90 \text{k}\Omega} \right) = 2.4 \left(\frac{45 \text{k}\Omega}{135 \text{k}\Omega} \right) \\ = 0.8 \text{mA}$$

وتكون القيمة المتبقية 1.6mA هي المارة في المقاومة R_1 . وبما أن التيار المقياس 0.8mA فإن المقياس الأساسي الذي يصل مداه من صفر إلى 1 ملي أمبير سوف ينحرف $\frac{8}{10}$ التدرج الكامل 90 فولت أي 72 فولت . وهذا يتحقق نتيجة حساب قيمة الهبوط في الفولتية في المقاومة R_1 حيث تكون $1.6 \text{mA} \times 45 \text{k}\Omega = 72 \text{V}$. وهي القيمة نفسها بالتحليل السابق .
 $= 45 \text{k}\Omega$

والآن لو ربطنا مقياس الفولتية آخر V_2 ذا الحساسية $20 \text{k}\Omega/\text{V}$ كما يلاحظ في الخريطتين الشكل (4.9) وعلى التدرج 90 فولت نجد أن ربط التوازي بجوي $R_1 = 45 \text{k}\Omega$ وكذلك $R_{V_2} = 90(20 \text{k}\Omega) = 1800 \text{k}\Omega$ وإن القيمة الكلية للمقاومتين $45 \text{k}\Omega$ على التوازي مع $1800 \text{k}\Omega$ هي 1% ضمن قيمة $45 \text{k}\Omega$ عبر $x-y$. ولذلك سوف تكون قراءة المقياس 90 فولت تقريباً وبما أن نسبة الخطأ أقل من 1/2% وهي أقل من القيمة المسموح بها لذا يمكن أهملها ولدى مقارنة الحالتين ببعضهما نلاحظ أن قيمة المقاومة الداخلية الواطئة نسبياً للحالة الأولى وهي $1000 \Omega/\text{V}$ يجعله غير مناسب لهذه القراءة في حين يكون المقياس الثاني ذو الحساسية $20 \text{k}\Omega/\text{V}$ مناسباً تماماً .

ولا ينبغي عن بالنا بأن مقياس الفولتية الأول V_1 غير مناسب هنا ولكنه مناسب لحالات أخرى كثيرة إذا احسنا الاختيار خاصة في الدوائر ذات المقاومة القليلة . ويمكن إجراء المقاومة نفسها لمقياس الفولتية الثاني والذي لا يصح استخدامه في الدوائر ذات المقاومات العالية جداً أكثر من الدوائر التي كانت قيد الدرس . وكعادة عامة يمكن تقدير صلاحية مقياس الفولتية للمقياس في الدائرة المعينة بحيث تكون المقاومة الداخلية لمقياس أكثر بعشرين مرة (على الأقل) من المقاومة الخارجية التي تربط عليها لمقياس الفولتية غيرها . ويمكن في حالات كثيرة إجراء التحليل اللازم واختيار المقياس المناسب بعد إجراء

الحسابات التي قمنا بها في هذا المثال ويمكن في هذه الحسابات استنتاج ضرورة استخدام مقاييس الفولتية الالكترونية ذات المقاسومة السداخلية العالية وذلك لتجنب خطأ التحميل المتوقع نتيجة سوء الاختيار .

يوضح المثال السابق ضرورة التأكد من صلاحية الجهاز نفسه أولاً وملاحظة النقاط الآتية من أجل الحصول على قراءات صحيحة :

أ - لاحظ القطبية الصحيحة ، اذ تسبب القطبية الخطأ عطب الجهاز بسبب دورانه عكس الموقف الميكانيكي .

ب - ضع الفولنيمتر عبر الدائرة او العنصر المراد قياس فولتيته .

ج - عند استخدام مقياس الفولتية المتعدد المديات استعمل دائماً أعلى مدى ثم قلل المدى الى ان تحصل على قراءة واضحة في التدرج .

د - احذر دائماً من تأثير التحميل . ويمكن تقليل هذا التأثير باستخدام مدى فولتية عالي (وحساسية عالية) . تقل دقة المقياس اذا كان المؤشر في الجزء السفلي الواطيء في التدرج .

تنجز قياسات الفولتية في الدوائر الالكترونية عادة بمقياس فولتية متعددة المديات او بمضاعفات القراءة مع حساسية بحدود $20k \Omega / v$ الى $50k \Omega / v$ على الاقل وفي قياسات القدرة حيث يكون التيار كبيراً فإن حساسية مقياس الفولتية تكون قليلة بحدود $100 \Omega / v$. وتمتد مقاومة مقياس التيار على تصميم الملف وقد وضحت القيم النموذجية لمقاومات بعض مقاييس التيار في الجدول (4.1) والتي تختلف باختلاف التدرج .

الجدول (4.1)
قيم نموذجية لمقاومة الاميتر

تيار التدرج الكامل μ A	المقاومة (بالاوم) للمقياس نوع (pivot jewel)	المقاومة (بالاوم) للمقياس نوع (Taut-band)
50	2000-5000	1000-2000
500	200-1000	100-250
1000	50-120	30-90
10,000	2-4	1-3

4.5 قياس المقاومة :

تعد المقاومة احد العناصر الكهربائية المهمة وهي موجودة في جميع الدوائر الكهربائية فضلاً عن وجودها ضمنياً في العناصر الأخرى مثل الملفات وبلفات المحولات والمحركات. والتمتعات وتختلف درجة الدقة المطلوبة لقياس المقاومات حسب الغرض المخصص لذلك القياس . وهناك طرق متعددة لقياس المقاومات نذكر فيما يأتي بعضها :

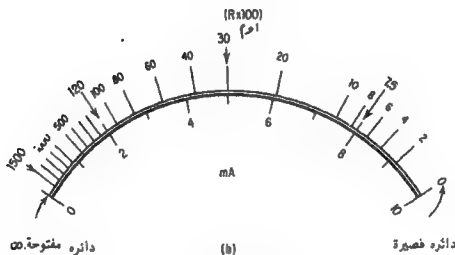
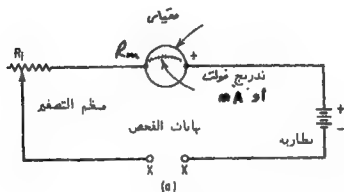
- ١ - مقياس الاوميتر
- ٢ - طريقة مقياس الاميتر والفولتميتر
- ٣ - طريقة الجهد
- ٤ - طريقة القنطرة

. وسنذكر تفاصيل الطريقة الاولى لعلافتها المباشرة مع اجهزة القياس وتراجع تفاصيل بقية الطرق وهناك نوعان من مقاييس المقاومة هما نوع التوالي ونوع التوازي والسبب في هذه التسمية يرجع الى طريقة ربط المقاومة المجهولة بالنسبة الى ملف المقياس :

4.5.1 مقياس المقاومة نوع التوالي :

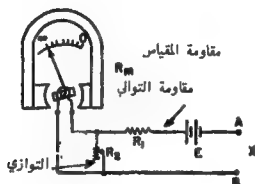
لا يعد هذا النوع من مقاييس المقاومة دقيقاً في القراءة على الرغم من استخدامه بكثرة في المجالات الصناعية والعملية في قياس المقاومات بصورة

تقريبية وخاصة المستخدمة في الدوائر مثل مقاومة السخانات او مقاومة ملف المحركات او لفرض فحص الدائرة القصيرة او المفتوحة وكما هو الحال ايضاً في فحص الفواصم او العناصر الكهربائية المعطوبة او فحص استمرارية الدائرة الكهربائية في التأسيسات للتأكد من ربط الاسلاك والكيبلات والى غير ذلك من الفحوصات المفيدة والسريعة والتي لا تحتاج الى معرفة قيمة المقاومة . يتألف مقياس المقاومة المتوالي من ملف دى ارسنال المتحرك على التوالي مع مقاومة R_x وبطارية E ونهائيتين A . B يتم ربط المقاومة اليها . وتعتمد قيمة التيار خلال المقياس على قيمة المقاومة المطلوبة قياسها R_x والتي تربط عبر النقاط A ، B . بمد معايرة الجهاز بربط النهايتين A . B بصورة مباشرة كما موضح في الشكل (4.11) .



الشكل 4.10 مقياس الاومتر

ولفرض تحليل الدائرة الكهربائية للامومتر المتوالي المستخدم في المختبرات
نلاحظ النموذج المبين في الشكل التالي (4.11)



الشكل 4.11 احد انواع الامومترات الشائعة الاستخدام في المختبرات .

- E = بطارية داخلية .
- R_1 = مقاوم تحييد التيار .
- R_2 = مقاوم متغيرة قراءة الصفر .
- R_m = المقاومة الداخلية الملف ذي ارسنغال المتحرك .
- R_x = المقاوم المجهول .

عندما تكون المقاومة المجهولة $R_x = 0$ (فإن النهايتين A و B متصلة اي مقصورة) يدور اعظم تيار في الدائرة . وفي هذه الحالة فإن المقاوم R_2 ينظم الى أن يصل المؤشر أعلى تدريج (I_{fsd}) فيؤشر مكان أعلى تدريج للتيار بالاشارة (0) على التدريج . وبشكل مشابه عندما $R_x = \infty$ (النهايتان A و B مفتوحة) فإن التيار في الدائرة يهبط الى الصفر والمؤشر يهبط الى التيار صفر والذي يمثل حينئذ بمقاومة (∞) . والاشارات الوسطى يمكن ان توضع على التدريج بربط قيم R_x على الجهاز . وتعتمد درجة دقة التأشير على دقة الملف المتحرك والخطأ في معايرة المقاومات وعلى الرغم من ان مقياس المقاومة نوع المتوالي شائع الاستعمال بكثرة في الاجهزة اليدوية للاشغال والخدمات العامة فإن فيه مساوئ وأهمها وجود البطارية الداخلية حيث ان فولتيتها تتغير مع الوقت وبالنسبة لعمر البطارية بحيث ان تيار اعلى تدريج يهبط والمقياس لا يقرأ (0) عندما تكون A و B مقصورة . والمقاومة العرضية R_2 في الشكل 4.11 تهيء

التنظيم اللازم عند هبوط البطارية او تغير قيمتها . وبدون R_2 يمكن جلب المؤشر الى اعلى تدريج بتنظيم R_1 . ولكن هذا سوف يغير معايرة الجهاز على طول التدريج .

أن التنظيم بالمقاوم R_2 هو الحل المثالي لان المقاومة الكلية لـ R_2 والملف مربوطان على التوازي قليلة نسبة الى R_1 ولذا فإن التغير في R_2 اللازم لتنظيم لا يغير المعايرة كثيراً . ودائرة الشكل (4.11) تناسب كثيراً ومع نصف أو استهلاك البطارية فانها جيدة بحدود الدقة المتوقعة للجهاز .

ان الكمية المناسبة لاستخدام مقياس المقاومة من نوع التوالي هي القيمة R_x التي تسبب انحراف المقياس الى منتصف التدريج ففي هذا المكان تعرف المقاومة عبر النهايات A و B بمقاومة منتصف التدريج R_h . فلو أعطينا تيار التدريج الكامل I_{fsd} والمقاومة الداخلية للملف المتحرك R_m فإن فولتية البطارية E والقيمة المرغوبة لمقاومة نصف التدريج R_h لأمكن تحليل الدائرة أي إيجاد قيمتي R_1 و R_2 .

يمكننا التوصل الى التصميم بمعرفة R_h فإن تيار المقياس يصبح $\frac{1}{2} I_{fsd}$ والمقاومة المجهولة يجب أن تكون المقاومة الداخلية الكلية للاوميتّر لذا .

$$R_h = R_1 + \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m} \quad (4.5)$$

المقاومة الكلية التي تظهر للبطارية تساوي $2R_h$ وتيار البطارية اللازم لتحيز انحراف نصف التدريج هو :

$$I_h = \frac{E}{2R_h} \quad (4.6)$$

وللحصول على انحراف التدريج الكامل فإن تيار البطارية يجب أن يتضاعف وعليه :

$$I_t = 2 I_h = \frac{E}{R_h} \quad (4.7)$$

ويصبح التيار العرضي خلال R_2 :

$$I_2 = I_1 - I_{fsd} \quad (4.8)$$

كما تصبح الفولتية عبر المقاومة العرضية (E_{sh}) مساوية للفولتية عبر الملف المتحرك .

$$E_{sh} = E_m \text{ أو } I_2 R_2 = I_{fsd} R_m$$

وأن :

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m}{I_2} \quad (4.9)$$

وبتمويض المعادلة (4.8) في المعادلة (4.9) نحصل على :

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m}{I_1 - I_{fsd}} = \frac{I_{fsd} R_m R_h}{E - I_{fsd} R_h} \quad (4.10)$$

وبحل المعادلة (4.5) نحصل على :

$$R_1 = R_h - \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m} = R_h - \frac{R_m}{1 - \frac{R_m}{R_2}} \quad (4.11)$$

وبتمويض المعادلة (4.10) في المعادلة (4.11) وبحل R_1 نحصل على :

$$R_1 = R_h - \frac{I_{fsd} R_m R_h}{E}$$

أي أن

$$R_h + \frac{R_m}{1 + \frac{I_{fsd} R_m R_h}{E - I_f R_{mi}}} = R_h + \frac{I_f R_m R_h}{E} \quad (4.12)$$

ويوضح المثال الآتي الحسابات النموذجية لأميتر من نوع المتوالي :

مثال (4.6) :

أوميتر الشكل (4.11) يستعمل الملف المتحرك الذي مقاومته (24Ω) ويحتاج إلى 1mA لتأثير تدريج كامل . فولتية البطارية الداخلية 3V . والتأثير للتدرج المطلوب لانحراف نصف تدريج هو 2000 أوم أحسب :

- أ - قيم R_1 و R_2 .
- ب - أقصى قيمة لـ R_2 ليتناسب مع المبوط 10٪ لفولتية البطارية .
- ج - خطأ التدرج لمتصف التدرج يؤثر (2000Ω) عندما توضع R_2 كإلبي ب .

الحل :

أ - إن تيار البطارية لانحراف تدريج كامل هو :

$$I_1 = \frac{E}{R_h} = \frac{3 \text{ V}}{2000 \Omega} = 1.5 \text{ mA}$$

تيار مقاومة تنظيم الصفر R_2 يكون :

$$I_2 = I_1 - I_{fsd} = 1.5 - 1 = 0.5 \text{ mA}$$

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m}{I_2} = \frac{1 \text{ mA} \times 24 \Omega}{0.5 \text{ mA}} = 48 \Omega$$

قيمة مقاومة تنظيم الصفر هي :
مقاومة الملف المتحرك والمقاومة المرضية على التوازي R_p تصبح :

$$R_p = \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m} = \frac{24 \times 48}{24 + 48} = 16 \Omega.$$

قيمة مقاوم محدد التيار R_1 هو :

$$R_1 = R_h - R_p = 2000 - 16 = 1984 \Omega.$$

للحصول على 10% لفولتية البطارية :

$$E = 3 \text{ V} - 0.3 \text{ V} = 2.7 \text{ V}$$

يُصبح تيار البطارية الكلي I_t :

$$I_t = \frac{E}{R_h} = \frac{2.7 \text{ V}}{2000 \Omega} = 1.35 \text{ mA}$$

كما يكون تيار المقاومة المرضية I_2 :

$$I_2 = I_t - I_{fsd} = 1.35 - 1 = 0.35 \text{ mA}$$

ومقاومة تنظيم الصفر R_2 تساوي

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m}{I_2} = \frac{1 \text{ mA} \times 24}{0.35 \text{ mA}} = 68.6 \Omega.$$

ج - مقاومة الملف المتحرك على التوازي مع R_2 تصبح .

$$R_p = \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m} = \frac{24 \times 68.6}{24 + 68.6} = 17.8 \Omega.$$

وبما أن مقاومة نصف التدرج R_h مساوية الى المقاومة الداخلية الكلية فإنها تزداد الى :

$$R_h = R_1 + R_p = 1984 \Omega + 17.8 \Omega = 2001.8 \Omega$$

لذا فإن القيمة الحقيقية لاشارة نصف التدرج على المقياس هي 2001.8 في حين تكون اشارة التدرج الحقيقي . 2000 . وتكون النسبة المئوية للخطأ :

$$\therefore \text{النسبة المئوية للخطأ} = \frac{2000 - 2001.8}{2001.8} \times 100\% \\ = - 0.0899\%$$

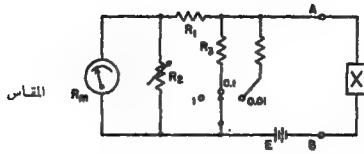
وتعني الاشارة السالبة أن قراءة المقياس واطئة .

... يمكن تصميم مقياس المقاومة في المثال (4.6) لقيم اخرى لـ R_h . فإذا كانت $(R_h = 3000 \Omega)$ فإن تيار البطارية يكون 1mA وهو تيار انحراف تدرج كامل .

وإذا قلت فولتية البطارية بسبب عمر البطارية فإن تيار البطارية الكلي يجب الى أقل من (1mA) لا يكون هناك مجال للتنظيم بسبب عدم وجود تيار في المقاومة R_2 .

وعليه فإنه لقيم R_h تساوي او اكبر من 3000 Ω أكثر حساسية او ذو بطارية قيمة E فيها أعلى من 3V .

يمكن اجراء بعض التعديلات لفرض الحصول على قيمة قليلة لـ R_h وذلك باعادة التصميم او اضافة مقاومة كالبيئة في الشكل (4.12) والفكرة الاخرى مفيدة في مقياس المقاومة ذات التدرجات المتعددة . فلو كانت R_3 تساوي $\frac{1}{9}$ من قيمة مقاومات التوالي والتي هي $(R_m + R_2) + R_1$ على التوازي فإن المقاومة الداخلية تصبح $\frac{1}{10}$ من قيمتها السابقة وكذلك فإن $\frac{1}{10}$ من التيار الذي سيمر في المقاومة المجهولة R_x يمر في R_3 وأن $\frac{1}{10}$ يمر خلال المسلك القديم فإذا كانت $R_3 = 200 \Omega$ فإن تيار البطارية يصبح عشر مرات اكبر من السابق ولكن يكون تيار الملف هو نفسه لذا فإن التدرج الذي كان 2000 فهو يمثل الآن 200 . لذا يمكننا استخدام التدرج السابق بضرب القيمة بالرقم 0.1



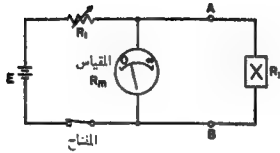
الشكل 4.12 أوميتر نوع التوالي ذو مديات متعددة .

وبصورة مشابهة سوف تضرب بالعامل 0.01 ولكن التيار الذي يمر في المقاومة المجهولة سيرتفع لذا يجب علينا الحذر من استخدام هذا المقياس في قياس مقاومة الاجهزة الحساسة للتيار مثل جهاز الكلفانوميتر أو جهاز الملي أميتر .

4.5.2 مقياس المقاومة نوع المتوازي (Shunt-type Ohmmeter) :

يوضح الشكل (4.13) الدائرة الكهربائية لمقياس المقاومة لاسيترون نوع المتوازي تحوي على بطارية تربط على التوالي مع مقاومة متغيرة R_1 وملف دى إرسنغال المتحرك . تربط المقاومة المجهولة عبر النهايات A و B على المتوازي مع المقياس . ويستخدم المفتاح S لفرض فصل البطارية عن الدائرة في حالة عدم استعمال الجهاز . فعندما تكون قيمة المقاومة المجهولة صفراً أي $R_x = 0$ (B,A) دورة قصر) فإن تيار المقياس يكون صفراً . وإذا كانت المقاومة المجهولة عالية جداً أي $R_x = \infty$ (A و B مفتوحة الدائرة) فإن طريق التيار يكون من خلال المقياس فقط وباختيار مناسب لقيمة R_1 فإن المؤشر يمكن أن يقرأ تدريجياً كاملاً . وعلمه يكون للمقياس اشارة الصفر في التدرج على الجهة اليسرى من التدرج (بدون تيار) وأما اشارة (∞) فإنها تكون على الجهة اليمنى من التدرج (التيار في أقصى انحراف التدرج) .

ويكون مقياس المقاومة نوع المتوازي بصورة خاصة مناسب في قياسات المقاومات ذات القيم الواطئة . وما هو بالجهاز الشائع الاستخدام ولكن يمكن استعماله في المختبرات إذ يستخدم في القياسات الخاصة للمقاومات الواطئة .



النكل 4.13 مقياس مثاومه نوع التوازي

يكون اسلوب تحليل مقياس المقاومة نوع المتوازي يشبه الاوميتير المتوالي
(الفقرة السابقة) . في الشكل (4.13) عندما $R_2 = \infty$ فإن تيار المقياس لاعلى
تدريج سيكون .

$$I_{fsd} = \frac{E}{R_1 + R_m} \quad (4.13)$$

إذ أن :

E = فولتية البطارية الداخلية .

R_1 = مقاوم تحديد التيار

R_m = المقاومة الداخلية للملف الدوار

ولفرض الحل لـ R_1 نجد :

$$R_1 = \frac{E}{I_{fsd}} - R_m \quad (4.14)$$

ولأي قيمة لـ R_2 المربوطة عبر نهايتي المقياس فإن تيار المقياس يقل ويعطى
بالعلاقة .

$$I_m = \left\{ \frac{E}{R_1 + [R_m + R_2 / (R_m + R_2)]} \right\} \times \frac{R_m}{R_m + R_2}$$

$$I_m = \frac{E R_x}{R_1 R_m + R_x (R_1 + R_m)} \quad (4.15)$$

ويعبر عن تيار المقياس لأي قيمة لـ R_x بجزء من تيار التدريج الكامل هو :

$$S = \frac{I_m}{I_{fsd}} = \frac{R_x (R_1 + R_m)}{R_1 (R_m + R_x) + R_m R_x}$$

أو :

$$S = \frac{R_x (R_1 + R_m)}{R_x (R_1 + R_m) + R_1 R_m} \quad (4.16)$$

وبتعريف :

$$\frac{R_1 R_m}{R_1 + R_m} = R_p \quad (4.17)$$

وبتعويض المعادلة (4.17) في المعادلة (4.16) نحصل على :

$$S = \frac{R_x}{R_x + R_p} \quad (4.18)$$

ويمكن معايرة المقياس وذلك لحساب S من المعادلة السابقة بدلالة R_p , R_x .
ولدى قراءة نصف تدريج المقياس ($I_m = 0.5 I_{fsd}$) تختصر المعادلة (4.16) إلى :

$$0.5 I_{fsd} = \frac{E R_h}{R_1 R_m + R_h (R_1 + R_m)} \quad (4.19)$$

إذ تمثل R_h المقاومة الخارجية التي تسبب انحراف نصف التدرج . وحساب قيمة التدرج التابع لقيمة R_1 معطاة فإن قراءة نصف التدرج يمكن إيجادها بقسمة المعادلة (4.13) على المعادلة (4.19) والحل لقيمة R_h .

$$R_h = \frac{R_1 R_m}{R_1 + R_m} \quad (4.20)$$

وبوضوح التحليل أن مقاومة نصف التدرج يمكن إيجادها بوساطة المقاومتين R_1 والمقاومة الداخلية للملف المتحرك R_m . وكذلك يمكن إيجاد المقاومة المحددة R_1 من قيمة مقاومة المقياس (R_m) وعند منتصف التدرج $R_1 + R_m$ والتيار انحراف التدرج الكامل I_{fsd} . إن توزيع التدرج لهذا النوع من المقياس يكون بشكل خطي للجزء السفلي منه عندما ($R_1 \ll R_h$) تكون القراءات مزدجة كلما زادت قيمة R_x ولأجل توضيح ملائمة أن الأميتر نوع المتوازي لقياس المقاومات الواطئة جداً ، لاحظ المثال الآتي :

مثال (4.7) :

تستعمل دائرة الشكل (4.13) ملف دي ارسنغال الاساسي تياراً (10mA) ومقاومته الداخلية (5Ω) . فولتية البطارية $E = 3V$ ويطلب تحويل الدائرة بإضافة مقاومة مناسبة R_{oh} عبر الملف المتحرك بحيث يؤثر الجهاز على 0.5Ω في منتصف التدرج

احسب :

أ - قيمة المقاوم المتوازي (R_{oh}) .

ب - قيمة مقاوم محدد التيار R_1 .

الحل :

أ - لانحراف نصف تدرج الملف المتحرك .

$$I_m = 0.5 I_{fsd} = 5 \text{ mA}$$

والفولتية عبر الملف المتحرك .

$$E_m = 5 \text{ mA} \times 5 = 25 \text{ mV}$$

وبما ان هذه الفولتية تظهر أيضا عبر المقاومة المجهولة R_v فإن التيار خلال R_v هو :

$$I_v = \frac{25 \text{ mV}}{0.5 \Omega} = 25 \text{ mA}$$

ان التيار خلال الملف المتحرك I_m زائداً التيار خلال المقاومة المتوازية I_{sh} يجب أن تساوي التيار خلال المقاومة المجهولة I_v لذا :

$$I_{sh} = I_v - I_m = 50 - 5 = 45 \text{ mA}$$

تكون المقاومة المتوازية :

$$R_{sh} = \frac{E_m}{I_{sh}} = \frac{25 \text{ mV}}{45 \text{ mA}} = 5/9 \Omega$$

ب - تيار البطارية الكلي :

$$I_t = I_m + I_{sh} + I_x = 5 + 45 + 50 = 100 \text{ mA}$$

الفولتية المأبطة عبر المقاومة المحددة R_1 تساوي $3V - 25mV = 2.975V$ ولذا :

$$R_1 = \frac{2.975V}{100 \text{ mA}} = 29.75 \Omega .$$

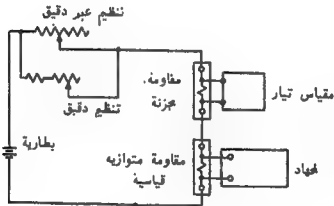
4.6 معايرة مقاييس التيار المستمر :

تختلف طرق معايرة اجهزة القياس باختلاف درجة الدقة المطلوبة للجهاز ويعتمد أساس المعايرة على مقارنة قراءة القياس المطلوب معايرته مع آخر متأكدين من جودته وصحة قراءته . لا تحتاج اجهزة القياس الاعتيادية وكذلك اجهزة القياس المستخدمة في اللوحات الكهربائية الى دقة عالية لذا يمكن معايرتها

باجهزة قياس ذات جودة عالية وتسمى الاجهزة المعيارية ويكون استخدامها نادراً وتخصص فقط للمعايرة ودرجة الدقة فيها تصل الى حد 0.1 بالمائة من قراءة التدرج الكامل وتعد هذه الطريقة سهلة وسريعة .

ويمكن أن تجرى معايرة اجهزة القياس المعيارية بواسطة المجهود (الپوتنشيوميتر) على الرغم من ان هذه الطريقة تستغرق مدة طويلة الا أنها تعطينا نتائج جيدة كما هو معروف عن المجهود . وللمجهود استخدامات في القياس وبشكل جيد تستخدم لقياس المقاومة والتيار والفولتية وفي الوقت نفسه يمكن استخدامه لمعايرة الاجهزة التي تستخدم لقياس التيار والفولتية .

وتتكون الدائرة الكهربائية التي تستخدم لمعايرة الاميتر من الربط المبين في الشكل (4.14) إذ تربط مقاومة قياسية على التوالي مع مقياس المقاومة المطلوب معايرته ويمكننا قياس الفولتية عبر هذه المقاومة بواسطة المجهود ومن ثم استنتاج كمية التيار بعملية حسابية بسيطة وبتطبيق قانون اوم لهذا الغرض ، ويظهر بأن قيمة التيار ستكون دقيقة وصحيحة الى درجة عالية بسبب استخدام المجهود المقاومة المعيارية ولو كان المطلوب معايرة مقياس تيار لفرض تأشير تدريجه لأول مرة عند صناعته فإنه يتطلب إعادة التجربة عدد من المرات وباستخدام عدد من المقاومات المعيارية تتناسب قيمتها مع قيم أقصى تدرج وعدد من القراءات الوسطية وتأشير ذلك على التدرج وبمدها يمكن استنتاج القراءات التي تقع بين هذه التأشيرات ويتم تثبيتها جميعاً .

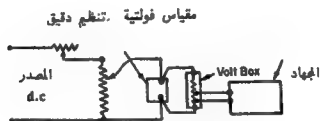


الشكل 4.14 معايرة مقياس التيار بالمجهود .

وأما إذا طلب معايرة الجهاز بعد الاستخدام لمدة معينة ولغرض التأكد من صلاحيته وسلامة قراءته فيتم ذلك بعدد محدود من القراءات ويفضل أن تكون هذه القراءات موزعة على مدى التدرج وخاصة القراءات القريبة من النهاية العظمى .

4.7 معايرة مقياس فولتية d.c. :

ويمكن استخدام الجهد لمعايرة مقاييس الفولتية المعيارية وتكون الدائرة كما هو موضح في الشكل (4.15) .
وعندما يراد معايرة مقياس الفولتية لأول مرة لغرض تأشير تدرجه فإن تدرج فولتية المصدر يوضع على المكان الذي يعطينا أعلى فولتية يمكن قراءتها بالمقياس ومن ثم يتم تدقيق القراءة بالجهد ويصبح ذلك أول نقطة يمكن تأشيرها على التدرج ثم تحفظ فولتية المصدر بتغير الفولتية بواسطة مقسم الفولتية ويتم قراءة الفولتية بالجهد ونؤشر على التدرج وهكذا يتم تأشير عدد من النقاط الأساسية الموزعة على مدى التدرج. وتؤشر النقاط الوسيطة إما بواسطة رسم منحنى أو بطريقة التسوية .



الشكل 4.15 معايرة الفولنمتر بالجهد .

وإذا كان المطلوب معايرة مقياس الفولتية بعد الاستخدام لفترة معينة من الزمن فإن العملية تكون أبسط من ذلك حيث يتم اختيار عدد أقل من القراءات لا يزيد عن الثلاث قراءات وذلك بتغير مقاومة مقسم الفولتية واستنتاج نسبة الخطأ وتصحيحها أو أخذها بنظر الاعتبار في حسابات القراءة الصحيحة من قراءة ذلك المقياس .

المسائل

- 1 - احسب فولتية اعلى تدريج يمكن أن يبينها جهاز متحرك الملف تياره $500 \mu A$ ومقاومته الداخلية 250Ω في حالة عدم استهلاك المضاعف .
- 2 - صم اميتر D.C. يحوي التدريجات $0-10mA$ و $0-50mA$ و $0-100mA$ و $0-500mA$. مستخدماً ملف دى ارسنقال الذي مقاومته الداخلية 50Ω و $R_m = 50 \Omega$ وتيار اقصى تدريج فيه $I_{fsd} = 1mA$.
(أ) احسب قيم المقاومات المتوازية المطلوبة
(ب) ارسم مخطط للدائرة الكامل .
- 3 - اميتر D.C. يحوي مقاومة متوازية مستعملأ الملف المتحرك الذي مقاومته الداخلية $R_m = 1800 \Omega$ وتيار اقصى تدريج فيه $I_{fsd} = 100 \mu A$. ربط هذا المقياس الى دائرة واعطى القراءة $3.5mA$ على التدريج $5mA$. وقد دقت هذه القراءة بمقياس اميتر D.C. معانير حديثاً والذي اعطى القراءة $4.1mA$. والظاهر أن الاميتر الاول فيه خطأ في قيمة المقاومة المتوازية على التدريج $5mA$ احسب (أ) القيمة الفعلية للمقاومة المتوازية (ب) المقاومة الصحيحة المتوازية على التدريج $5mA$.
احسب (أ) القيمة الفعلية للمقاومة المتوازية (ب) المقاومة الصحيحة المتوازية على التدريج $5mA$.
- 4 - صم المقاومة المتوازية نوع ايرتن تعمل مع ملف متحرك مقاومته الداخلية 2500Ω وتيار اقصى تدريج $I_{fsd} = 50 \mu A$ لغرض الاستخدام للمدىات $50 \mu A$ و $100 \mu A$ و $500 \mu A$ و $10mA$ و $100mA$.
(أ) احسب مقاومة المتوازي ايرتن لجميع المدىات
(ب) ارسم مخطط كامل للمقياس مبيناً المقاومات والزر المتحرك .
- 5 - يطلب تحويل ملف متحرك تياره $50 \mu A$ ومقاومته 1000Ω الى فولتميتر D.C. يقرأ من الصفر الى $2500V$. احسب (أ) المقاومة المضاعفة (ب) حساسية الجهاز .
- 6 - لفولتميتر D.C. حساسيته $1000 \Omega/V$. احسب قيمة المقاومة الاضافية المطلوبة لتحويل الجهاز الى جهاز آخر تدريجه $0-1000V$.
- 7 - باستخدام ملف متحرك تياره $50 \mu A$ ومقاومته الداخلية 1500Ω . صم فولتميتر متعدد المدىات فيه المدىات $0-5V$ و $0-10V$ و $0-50V$ و $0-100V$. احسب (أ) قيم المضاعفات (ب) حساسية الجهاز . ارسم مخطط الدائرة للتصميم الكامل .

8 - ميكرواميتر D.C. مقاومته الداخلية 250Ω وتيار أقصى تدرّيج فيه $500 \mu A$ مبيّناً التيار $300 \mu A$ عندما ربط الى دائرة تحوي خلية جافة $1.5 V$ ومقاومة مجهولة. احسب قيمة المقاومة المجهولة.

9 - صمم مقياس اوميتر نوع التوالي مشابه لدائرة الشكل 2-22 والملف المتحرك المطلوب استخدامه تياره $0.5 mA$ لأقصى تدرّيج ومقاومة داخلية 50Ω البطارية الداخلية فولتيتها $3V$ وقيمة مقاومة منتصف التدرّيج المرغوبة 3000Ω احسب :

(أ) قيمة المقاومة R_1 والمقاومة R_2 (ب) مدى قيم R_2 اذا تغيرت فولتية البطارية الجافة من $2.7V$ الى $3.1V$. استخدم قيمة R_1 التي حسبت في (أ).

10 - اوميتر توالي صمم ليشتغل مع بطارية $6V$ فيه غطط الدائرة مشابه للشكل 2-22. وان الملف المتحرك للمقياس مقاومته الداخلية 2000Ω ويحتاج الى $100 \mu A$ لانحراف تدرّيج كامل. قيمة المقاومة R_1 هي $49 k\Omega$.

(أ) افرض ان فولتية البطارية هبطت الى $5.9V$. ثم احسب قيمة R_2 المطلوبة لتصغير المقياس.

(ب) تحت الظروف المذكورة في (أ) ربطت المقاومة المجهولة R_x الى المقياس مسببة انحراف مقداره 60% . احسب قيمة المقاومة المجهولة R_x .
11 - الملف المتحرك لفولتميتر الشكل 2-17 فيه تيار تدرّيج كامل $50 \mu A$ ومقاومة داخلية 2000Ω . وقراءة أقصى تدرّيج للمقياس $150V$ عندما يكون موضع الزر في V_1 و $50V$ عندما يكون موضع الزر في V_2 و $10V$ عند الوضع V_3 و $1V$ عند الوضع V_4 احسب (أ) قيم المقاومات المضاعفة R_1 و R_2 و R_4 (ب) حساسة الفولتميتر.

12 - فولتميتر D.C. حساسيته $10 k\Omega/V$ واستخدم عند تدرّيجه $0-150V$ لفرض قياس الفولتية عبر المقاوم $100 k\Omega$ كما في الشكل 2-18. احسب نسبة الخطأ في قراءة المقياس.

13 - صمم مقياس فولت - اوم - ملي اميتر ذو الخصائص الآتية :
(أ) مدىات الفولتية $0-5$ و $0-25$ و $0-100$ و $0-500$ فولت d.c.
(ب) مدىات التيار $0-10$ و $0-100$ و $0-500$ و $0-1000$ ملي امبير .
(ج) مدىات المقاومة 20Ω و 2000Ω و $200 k\Omega$ على منتصف التدرّيج.

الملف المتحرك المستخدم في هذا الجهاز هو ملف دي ارستمال ذو المقاومة الداخلية 1500Ω وتيار أقصى تدرّيج 50mA (راجع مخطط الدائرة والوصف لمقياس متعدد الأغراض الشكل 2-24 لفرض أخذ المعلومات عن ترتيبات الدوائر).

14 - فولتميتر D.C. كما في الشكل 2-20b حساسيته $1000\Omega/\text{V}$ وقراءة أقصى تدرّيج فيه 100V . والمقياس يبين 84V عند ربطه على حمل. احسب الخطأ في قياس القدرة المبذولة في الحمل بواسطة طريقة الفولتميتر - الأمبير عندما يبين الأميتر القراءة (أ) 50mA و (ب) 1A و (ج) 10A .



أَجْزَاءُ التَّيَّارِ الْمُتَنَاقِظِ

مقدمة :

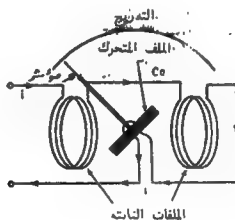
يعتمد عزم الدوران في اجهزة قياس التيار المستمر على معدل التيار المار في الملف . فاذا مرَّ تيار متناوب في الجهاز فان المؤشر سيتحرك نحو اليمين واليسار بسبب تغير اتجاه التيار . واذا كان التردد عالياً نسبياً فلا يسمح القصور الذاتي للمؤشر بمتابعة سرعة تغير التيار فيثبت عند الصفر .

ولاجل اجراء القياسات للتيار المتناوب باستخدام ملف دى ارسنغال يجب استخدام بعض الاساليب التقنية للحصول على عزم دوران باتجاه واحد ومن هذه الطرق تقويم التيار المتناوب الى تيار مستمر قبل تسليطه على الملف او استخدام اجهزة قياس اخرى تعتمد حركة المؤشر فيها على التأثيرات الحرارية او الجذب المغناطيسي والكهروستاتيكي وغير ذلك .

5.1 الداينومومتر : Dynamometer

وهو احد الاجهزة المهمة لقياسات التيار المتناوب وان الاجهزة الاساسية لهذا الجهاز هي فولتميتر أو أميتر التيار المتناوب وبخاصة للترددات الواطئة نسبياً . كما يمكن استعمال الداينومومتر كجهاز انتقال من التيار المستمر الى المتناوب ويتم مقارنة النوعين به حيث يمكن تعيير الجهاز بادخال كميات التيار المستمر ومن ثم

يستخدم لقياسات التيار المتناوب . هذا وان التكوين الاساسى للجهاز يكن استخدامه وتحويله الى مقياس القدرة أو مقياس القدرة غير الفاعلة أو فارميتر فضلاً عن امكانية استخدامه كمقياس لعامل القدرة وقياس الترددات . يمكن فهم فكرة جهاز الدانوموميتر ابتداءً بالملف المتحرك PMMC وتحليل تأثير الملف بالتيار المتناوب كما ذكرنا في المقدمة حيث يلاحظ اهتزاز المؤشر وثبوته عند قراءة الصفر بسبب سرعة تغير التيار بين القيمة الموجبة والقيمة السالبة ولو شئنا تبديل اتجاه المجال المغناطيسي الدائم بحيث يتزامن هذا التغير مع اتجاه التيار في الملف الدوار فإن عزم الدوران سيتخذ اتجاهها واحداً ويكون بنفس الاتجاه لنصفي دورة التيار المتناوب الموجب والسالب . ويمكن تحقيق تغير اتجاه المجال باستخدام ملف آخر نسيه ملف المجال يكون على التوالي مع الملف المتحرك وان ذلك سيشبه الى حد ما فعل حركة محرك التيار المستمر . فإذا بقي المجال بالاتجاه نفسه فإن اتجاه دوران المحرك سينعكس اذا انعكس تيار الملف المحرك . اما اذا انعكس اتجاه المجال والمتعرض بالوقت نفسه فإن عزم الدوران سيسلك اتجاهها واحداً . وهناك تشابه في نقاط اخرى بين الدانوموميتر ومحرك التيار المستمر المتوالي ستوضح بعض شرح مكونات الدانوموميتر نفسه .



الشكل 5.1 بين اجزاء الدانوموميتر الاساسه والمكمل كجهاز على اميتر

يوضح الشكل (5.1) الاجزاء الرئيسة لجهاز الدانوموميتر اذ يتألف ملف المجال من جرتين أين وابسر بتوسط الجزئين الملف المتحرك الذي يتصل بمؤشر الجهاز واجزاء الملف الثابت والمتحرك جميعا مربوطة على التوالي نسبة الى نهايات القفص للجهاز . واما طريقة اداء الجهاز وعزم الدوران فيه فبممكن تفسيرها

بالرجوع الى معادلة العزم $T = BALI$ ولاحظ بأن B كثافة التدفق المغناطيسي للملف الثابت في جهاز الدايناموميتر يعتمد على التيار I نفسه بسبب الربط على التوالي لذا فإن العزم T يتناسب مع مربع التيار اي I^2 . ولو استخدم هذا الجهاز لقياس تيار مستمر فإن تدريج المقياس يتناسب مع مربع التيار وكذلك الحال اذا استخدم لقياس تيار متناوب ويكون تأثير المؤشر نسبة الى معدل مربع التيار بسبب عزم القصور الذاتي للملف المتحرك وتأثير النابض الحلزوني عليه يجعل الملف يتأثر بعزم دوران يتناسب مع هذا المعدل ويمكننا تغيير التدريج وجعله يتناسب مع جذر معدل التربيع لتصبح القراءة هي القيمة الملف المعروفة .

وإذا كان قد تم تعيير الجهاز بواسطة تيار مستمر فنلاحظ التأثير على تدريجه μ أمبير مثلاً فمن المعروف ان هذا المقدار يعني قيمة جذر معدل التربيع للتيار (r.m.s) او القيمة المؤثرة او القيمة المكافئة للتأثير الحراري الذي يسببه تيار مستمر القيمة بنفسها يستهلك جهاز الدايناموميتر قدرة أكثر من جهاز الملف المتحرك وهذه أحد مساوئ الجهاز والسبب واضح حيث أن جهاز الملف المتحرك يحتاج التيار لتحريك الملف فقط بسبب وجود المجال المغناطيسي الدائم بالاصل وأما في جهاز الدايناموميتر فإن تيار القياس يؤدي واجبين هما تكوين المجال ودوران الملف . هذا وإن المجال في جهاز الدايناموميتر أقل منه في جهاز الملف المتحرك .

مقياس الفولتية والتيار من الدايناموميتر :

يمكن تحويل الدايناموميتر الى مقياس فولتية باضافة مقاومة على التوالي تسمى بالمقاومة المضاعفة ويكون ربطها للمقاييس الممتدة التدريجات أما بصورة انفرادية أو مشتركة كما هو الحال في فولتميترات التيار المستمر التي شرحناها في الفصل السابق .

ويُعد هذا النوع من أدق الفولتميترات وخاصة للحساسيات الواطئة بالمقارنة مع مقاييس فولتية التيار المستمر .

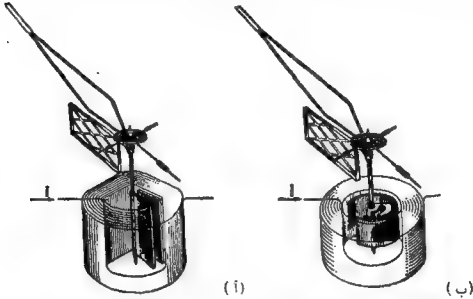
وأما تحويل الدايناموميتر الى أميتر فيتم باضافة مقاومة مجزئة على التوازي وبصورة مشابهة لمقياس التيار المستمر ونود أن نضيف بهذه المناسبة أن الدايناموميتر نفسه يُعد أميتر لقياس التيارات الواطئة ويمكن اضافة المقاومة

المجزئة التي تمرر غالبية التيار المطلوب قياسه وأما للتيارات العالية جداً فيمكن استخدام محولات تخفيض التيار والمساءة بمحولات الاجهزة والتي ستوضح في نهاية الفصل .

5.2 اجهزة الحديدية المتحركة :

هناك نوعان من هذه الاجهزة هما نوع التجاذب ونوع التنافر .
 أ - نوع التجاذب : لو جربنا تثبيت قطعة حديد من طرفها قرب ملف يحمل تياراً نلاحظ إنجذاب قطعة الحديد الى داخل محور الملف ولو غيرنا اتجاه التيار في الملف لكانت النتيجة نفسها وهي جذب قطعة الحديد نحو محور الملف أيضاً وعلى هذا الاساس يمكن الاستفادة من هذه الخاصية في اجهزة قياس التيار المتناوب حيث أن قوة الجذب هذه تعتمد على قيمة مربع التيار I^2 وبإضافة نابض سيطرة وتدرج يصبح لدينا جهاز قياس متكامل يعمل ببدأ قوة الجذب المغناطيسية .

وبوضح الشكل (5.2) تركيب جهاز متحرك الحديدية نوع التجاذب حيث يلاحظ وجود قطعتين من الحديد أحدهما ثابتة والاخرى متحركة مثبتة بشكل قطري نسبة الى الملف ويتصل مؤشر القياس مع النابض واثقال الاخاد وبقطعة



الشكل 5.2 جهاز الحديدية المتحرك
 أ - نوع الريشة المحورية ب - نوع الريشة المركزية

الحديد المتحركة فعند مرور التيار في الملف يحصل التجاذب بين قطعتي الحديد بسبب القوة التي تعمل على توجيه قطعة الحديد المتحركة باتجاه مجال الملف . ويمكن تحويل الجهاز الى مقياس تيار أو مقياس فولتية بواسطة المقاومات المجهزة أو المضاعفة .

.. .

ب - نوع التنافر :

تركب قطعتا الحديد المسماة بالريش أو الزعانف في هذا النوع سوية قرب بعضهما البعض داخل الملف مثبتة بشكل مركزي وعند مرور التيار في الملف تمغنط القطعتان ويكون القطب الشمالي في نهاية والقطب الجنوبي في النهاية الثانية فيحصل التنافر بين الزعنفتين بسبب قرب الاقطاب المتشابهة عن بعضهما البعض وتستعمل قوة التنافر هذه للقياس وذلك بتثبيت أحد القطعتين على الملف والثاني على محور دوران المؤشر كما مبين في الشكل (5.2) يمكن اجراء تحويلات في شكل الزعانف بطريقة تحصل فيها على تدريج ذي تقسيمات مختلفة وحسب المطلوب .

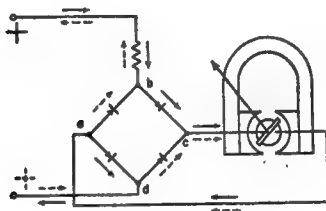
ان ميزات أجهزة القياس متحركة الحديد هي البساطة والمتانة وعدم وجود أجزاء متحركة يمر فيها التيار ولا يتعرض الجهاز للعطب بسرعة بسبب زيادة التحميل اضافة الى ميزة اخرى وهي سعرها المناسب مقارنة مع أجهزة الدايناموميتر الا انها تختلف عنها بدرجة الدقة الواضحة .

لو اردنا مقارنة النوعين التجاذب والتنافر نجد أن نوع التنافر الهوري أكثر حساسية من النوع المركزي وان تدريج النوع الهوري خطي تقريباً الا أن النوع المركزي أكثر دقة بسبب عدم تأثر الزعانف بالتخلقية المغناطيسية .

5.3 أجهزة الملف المتحرك المزودة بمعدّل :

أن أحد الحلول المناسبة لبناء جهاز مقياس فولتية a.c. ذي حساسية عالية أكثر من نوعي الدايناموميتر ومتحرك الحديد هو استخدام معدّل قبل تسليط الموجة المتناوبة على ملف دي ارسنفاك المتحرك حيث يستقبل تيار مستمر بعد التسديل وبذلك استطعنا قياس الكميات المتناوبة بجهاز الملف المتحرك الخاص بالتيار المستمر والمعروف بخصائصه الجيدة وحساسيته العالية :

يوضح الشكل (5.3) قنطرة تعديل على التوالي مع مقاومة مضاعفة وملف متحرك نوع PMMC ويلاحظ على الشكل اتجاه الاسهم لتوضيح اتجاه التيار في حالته الموجبة (السهم الكامل) وفي حالته السالبة (السهم المنقط) والنتيجة تكون مرور التيار باتجاه واحد في الملف أي تيار مستمر .



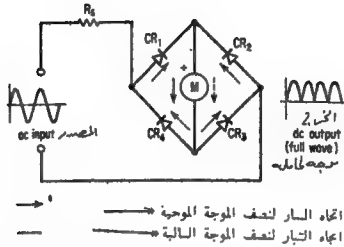
الكل 5.3 دائرة فولتيتر المزودة بمدل

يُعد تأثير مؤشر القياس هو لقيمة المعدل ولكن يمكن تغيير التدرج يصبح التأثير للقيمة المؤثرة للتيار الجيبي (r.m.s) .

. تنحصر محدودات هذا النوع من أجهزة القياس في التردد بسبب الخاصية السعوية التي تظهر في القنطرة والمكثفات عند الترددات العالية وكذلك تأثيره بالحرارة العالية بسبب اختلاف مقاومة المدلات بالحرارة وخاصة المقاومة الامامية .

مثال 5.1

يوضح الشكل (5.4) مقياس فولتية حيث تدرج المقياس (0-10Vrms) المطلوب هو حساب قيمة المقاومة المضاعفة علماً ان تيار اقصى تدرج (0-50 μ A) وحساسية الجهاز 20 k Ω /V لفولتية التيار المستمر وبغرض أن قيمة المقاومة الامامية للمعدلات صفرأ 0 Ω أي أنها متالية .



النكل 5.4 دائرة قطرة معدل لموجة كاملة حيث ان التيار في الملف M الاتجاه نفسه دائما على الرغم من ان الدحل تيار مسلوب

الحل :

قبل البدء في حل هذا المثال لابد من الاشارة الى أن الملف المتحرك يتأثر بقيمة معدل التيار المار به على الرغم من أن قراءة المقياس هي قيمة جذر معدل التربيع وعليه يجب علينا ترجمة هذا المعنى بإيجاد صيغة رياضية يمكن بواسطتها معرفة قيمة المعدل للقراءة التي يسجلها المقياس والتي هي قيمة جذر معدل التربيع ويتم ذلك من العلاقات المعروفة والخاصة بالتقييم الجيبية وهي الآتي :

$$V_{rms} = 0.707 V_{max} \quad \text{--- (5.1)}$$

$$\frac{V_{av}}{V_{max}} = 0.636 \quad \text{--- (5.2)}$$

حيث

$$\frac{V_{av}}{V_{rms}} = \frac{0.636 V_{max}}{0.707 V_{max}} = 0.9 \quad \text{--- (5.3)}$$

وعليه فإن قيمة أعلى تدرج وهي $10 \text{ V}_{\text{rms}}$ يؤثرها مؤشر المقياس على التدرج هي مكافئة لـ 9 V تيار مستمر يتأثر بها فعلاً ملف الجهاز .
وعما ان تيار أعلى تدرج هو $50 \mu\text{A}$ وهي قيمة تيار مستمر :

$$I_{m(av)} = \frac{V_{(av)} \text{ المكافئ}}{R_t} = \frac{0.9 \text{ V}_{\text{rms}}}{R_t}$$

$$\therefore 0.5 \text{ mA} = \frac{9 \text{ V}}{R_t (\text{k}\Omega)}$$

$$R_t = 180 \text{ k}\Omega$$

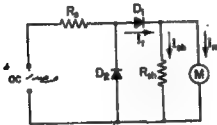
واذا اعطيت قيمة المقاومة الامامية للمعدل الواحد فانها نطرح من R_t لاجداد قيمة مقاومة التوالي R_g .

يلاحظ أن حساسية هذا الجهاز $18 \text{ k}\Omega/\text{V}$ $\frac{180 \text{ k}\Omega}{10 \text{ V}_{\text{rms}}} =$ على تدرجه للتيار المتناوب . .

ونود الاشارة هنا أنه في الحالات التي يكون فيها شكل الموجة يختلف عن الشكل الجيني أي مثلثي أو مربع أو غير ذلك فإن علاقة معدل الفولتية وقيمته المؤثرة تحسب بشكل خاص لتلك الحالة المعينة .

أجهزة نصف التقويم :

يلاحظ في الشكل (5.5). دائرة مقياس الملف المتحرك المزود بمعدل نصف الموجة .



التكل 5.5 دائرة فولتميتر
نوع المعدل لنصف الموجة

في الدائرة المينة اعلاه يصل الى الملف M موجة نصف تقويم بواسطة الثنائي D_1 لذا فالملف يستقبل نصف التيار المقوم وينحرف المؤشر حسب معدل قيمة هذا النصف من الموجة. و R_{sh} فائدتها لحجب تيار أكثر من D_1 وجعلها تعمل في الخط المستقيم لبياني خواص الثنائي. وبغياب D_2 يتسبب مرور تيار عكسي في D_1 وبوجود D_2 يعود النصف الثاني من الموجة السالب مباشرة عن طريق D_2 دون المرور بالملف والمقاومة R_{sh} . ان مركبة الـ d.c. للموجة الجيبية لنصف موجة تساوي 0.45 من قيمة ج.م.ت فتظهر مشكلة الحصول على الانحراف. نفسه عند قياس الـ d.c. والـ a.c. حيث أن المضاعف للـ a.c. يجب أن يكون أوطأ والمثال الآتي يبين هذه الحالة :

5.2 مثال

مقياس مقاومته الداخلية للملف 100Ω يحتاج الى 1mA لانحراف كامل . قيمة R_{sh} هي 100Ω ولثنائي D_1 ، D_2 مقاومتها الامامية 500Ω ومقاومتها الخلفية غير منتهية بالاتجاه العكسي . للتدريج 100V a.c. أجيب :

أ - قيمة المضاعف R_2
 ب - حساسية الفولتميتر على التدريج a.c.

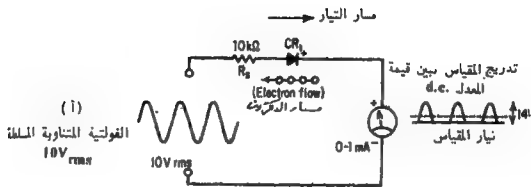
الحل :

بما أن كلا من R_m و R_{sh} تساوي 100Ω فإن المصدر يجب أن يجهز للحصول على انحراف كامل وبتيار مقداره $I_f = 2\text{mA}$ ولتقوم نصف الموجة فإن قيمة الـ d.c. المكافئة للـ a.c. المقوم سيكون :

$$\therefore V_{d.c.} = 0.45 V_{rms} = 0.45 \times 100 = 45 \text{ V}$$

المقاومة الكلية للجهاز R_f حيث :

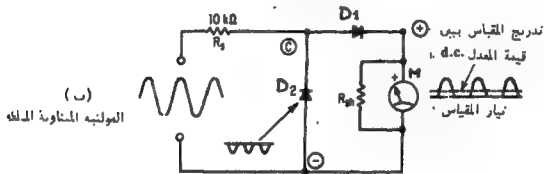
$$R_f = \frac{V_{dc}}{I_f} = \frac{45\text{V}}{2\text{mA}} = 22500\Omega$$



قيمة المعدل لهذه العترة هي
0.9 V أو 0.616 . V

قيمة المعدل لهذه الفترة صفر.

قيمة المعدل للترتبن، $0.90 \text{ mm} = 0.45 \text{ rms of ac}$



الشكل 5.6 دائرة مقياس مولية نوع المعدل لنصف الموجة

(أ) الدائرة شكل مسط (ب) الربط العمل للدائرة

تنتج هذه المقاومة عن عدد من الاشياء . وبما أننا نهم بصف الموجة الذي يصل الملفه نهمل المقاومة D_1 العالبة جدا اذ :

$$R_t = R_s + R_{D1} + \frac{R_{in} R_{sh}}{R_{in} + R_{sh}}$$

وان :

$$R_t = R_s + 500 + \frac{100 \times 100}{200} = R_s + 550$$

وعليه فإن :

$$R_v = 22500 - 550 = 21,950 \Omega$$

ب - وتكون حساسة مقباس الفولتية على التدرج $100V_{ac}$ هي :

$$S = \frac{R_i}{V_{ac}} = \frac{22500}{100} = 225 \Omega/V$$

وتكون حساسة الملف نفسه المستعمل في فولتميتر الـ dc هي $1000 \Omega/V$

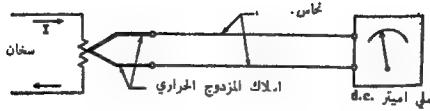
5.4 مقياس فولتية الكهربائية المستقرة :

يعتمد عمل مقاييس فولتية الكهربائية المستقرة على فعل القوة بين الشحنات الكهربائية اذ لو شحنت الاقطاب المتجاورة بشحنتين مختلفتين لنتج قوة جذب بينهما وتعتمد قوة الجذب هذه على عوامل مختلفة منها كمية الشحنة والشكل الهندسي للاقطاب وبذلك يمكن الاستفادة من هذه الخاصية للقياس .

تستخدم هذه الطريقة لقياسات الفولتيات العالية جداً وذلك بتأثير القوة بين قرصين ، بعد تلبط الفولتية المراد قياسها على القرصين وينتظر مراعاة المسافة بين القرصين لكي لا يحدث تفريغ كهربائي بينهما . وتتناسب القوة مع مربع الفولتية المسلطة ولذلك تكون قراءة المقياس للفولتيات المتناوبة مساوية لقيم جذر معدل التربيع لتلك الفولتية . ويمكن أيضاً استخدامها لقياس الفولتيات العالية للتيار المستمر .

5.5 اجهزة القياس الحرارية :

أن اساس هذه الاجهزة هو المزدوج الحراري Thermocouple حيث يتكون من سلكين كل سلك من مادة تختلف عن الآخر ولها خاصية امرار تيار كهربائي عند ربط السلكين مع بعضها لاكمال الدائرة الكهربائية بوضع احد نهايتي الربط في مكان درجة حرارته أعلى من النهاية الاخرى لاحظ الشكل (5.7) . ويمكن استخدام المزدوج الحراري لقياس درجة الحرارة حيث نوضع إحدى النهايات في المكان المراد قياس درجة حرارته والنهاية الاخرى في مكان آخر معروفة درجة



الشكل 5.7 دائرة مقياس تيار نوع المزدوج الحراري

حرارته بطريقة يتم المحافظة فيها على درجة الحرارة وتكون ثابتة . ويمكن قياس التيار بالاساس نفسه وذلك بجعل الطرف الساخن متصل حرارياً (ولا يشترط الربط مباشرة او توصيلة كهربائياً) سخان يمر فيه تيار وجعل الطرف البارد قريباً من الطرف الساخن بطريقة لا يحصل فيها فرق في درجة الحرارة بينهما الا بعد مرور التيار في السخان .

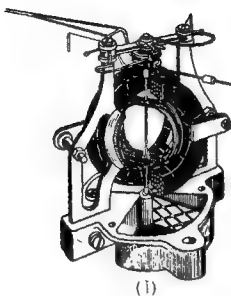
وتلحم اسلاك المزدوج الحراري في منتصف السخان وتثبت على عازل كهربائي لمزل المقياس الذي يحوي المؤشر والتدريج عن جزئه الآخر وهو اسلاك المزدوج الحراري لمنع تسرب التيار من المصدر الذي يغذي السخان الى جهاز القياس عن طريق التوصيل الكهربائي بواسطة الاسلاك ولكن ذلك يعمل على تأخير استجابة المقياس للتغيرات في الحرارة .

وأخيراً لابد من الاشارة الى أن المزدوج الحراري يقيس قيمة جذر معدل التربيع بفض النظر عن شكل الموجة لان الحرارة تتناسب مع العلاقة $I^2 R$.

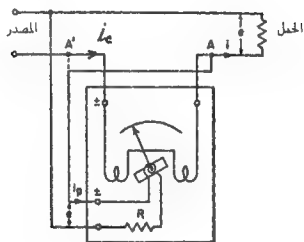
5.6 مقاييس القدرة :

مقاييس القدرة (الواطميتر) ذو الطور الواحد يمكن اجراء تحويل في طريقة ربط الملفات الدائنيوميتر ليصبح مقياس قدرة ذي طور واحد كما هو موضح في الشكل (5.8) .

اذ تدعى الملفات الثابتة بملفات المجال وتربط على التوالي مع الخط وتحمل التيار I_a ويربط الملف المتحرك على التوالي مع عدد التيار R عبر الخط ويحمل التيار I_p اذ أن $(I_p = \frac{e}{R_p})$ وان e هي فولتية الخط و R_p مجموع مقاومة ملف الفولتية و R . يتناسب انحراف الملف مع حاصل ضرب التيارين I_a و I_p ويكون معدل الانحراف :



(أ)



(ب)

الشكل 5.8 مقياس القدرة (الواطميتر) طور واحد
 أ - يظهر الملفان الثابتان والملف المتحرك بينها
 ب - دائرة الجهاز والربط الى المصدر والحمل .

$$\theta_{av} = K \frac{1}{T} \int_0^T i_c i_p dt \quad \dots(5.4)$$

Q_{av} = معدل الانحراف الزاوي للملف .

K = ثابت الجهاز .

i_c = التيار الآتي في ملف المجال .

i_p = التيار الآتي في ملف الفولتية .

نفرض أن i_c يساوي تيار الحمل i وفي الحقيقة ($i_c = i_p + i$) وحيث أن

$i_p = e / R_p$ تصبح المعادلة (5.4) :

$$i_{av} = K \frac{1}{T} \int_0^T i \frac{e}{R_p} dt = K_2 \frac{1}{T} \int_0^T e dt \quad \dots(5.5)$$

ومن التعريف لمعدل القدرة في الدائرة :

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T e i dt \quad (5.6)$$

يلاحظ من المعادلتين (5.5) و (5.6) ان انحراف الداسمومتر يتناسب مع القدرة وإذا كانت e و i جيبية فإن $e = E_m \sin \omega t$ $i = I_m \sin (\omega t \pm \phi)$ ،

وتصبح المعادلة (5.5) بالشكل الآتي :

$$\theta_{av} = K_3 E I \cos \phi$$

إذا تمثل E و I قيم ج. م ت . للفولتية والتيار وتمثل ϕ زاوية الطور بين الفولتية والتيار . تحوي مقاييس القدرة عادة نهاية فولتية واحدة وكذلك نهاية تيار واحد ومؤشر عليها \pm او اشارة نجمه وعند ربط نهاية ملف التيار المؤشرة الى الخط الداخل ونهاية ملف الفولتية المؤشرة الى نهاية ملف التيار الغير مؤشرة

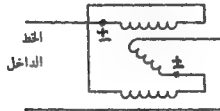


الشكل 5.9

الشكل 5.9 منظر خارجي لجهاز القدرة طور واحد .

فإن قراءة المقياس تكون صحيحة عند ربط حمل معين به والشكل 5.10 يوضح طريقة الربط الصحيحة .

أما إذا كانت القراءة بصورة معكوسة فيجب عندها عكس ربط لفيفة التيار .

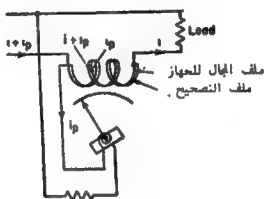


الشكل 5.10 ربط نهايات الملفاب في مقياس القدرة .

5-6-1 استخدام ملف التصحيح Compensating Winding في مقياس القدرة :

يتوضح في الدوائر الخاصة بأنواع مقياس القدرة ، أن تيار الحمل الرئيسي لا يمر خلال المقياس ولا يسلف على الجهاز نفس فولتية الحمل وعليه ولتلافي عوالب هذه المشكلة وجعل المقياس يتحس بقيم تيار وفولتية الحمل ولكي يقرأ قراءة صحيحة يصمم ملف الحمل بمقتضى كل ملف يحوي نفس العدد من اللفات ويتكون الملف الأول من سلك سميك يجعل تيار الحمل مضافاً إليه تيار ملف الفولتية أما الملف الآخر فيتكون من سلك رفيع يجعل تيار ملف الفولتية فقط ويكون هذا التيار موجهاً بمكس اتجاه تيار الملف السميكة لكي يتعادل مجال هذا التيار مع جزء من المجال المساو له في الكمية والمتكون بسبب مروره في الملف السميكة .

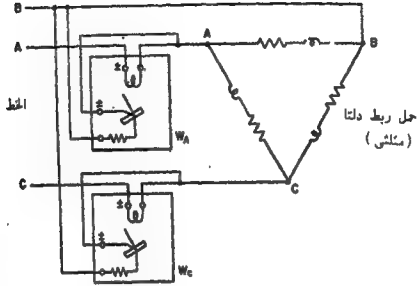
وعليه فإن تأثير تيار ملف الفولتية أصبح مهماً ونحصل على قراءة صحيحة لمقياس القدرة .



الشكل 5.11 توصيل طرفية ربط ملف التصحيح في مقياس القدرة

5.6-2 مقياس القدرة لثلاثة أطوار :

يمكن قياس قدرة دوائر الاطوار الثلاثة المتزنة بمقياس القدرة ذي الطور الواحد ويكون الربط كما موضح في الشكل (5.12) .



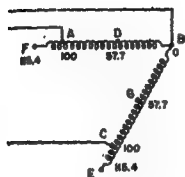
الشكل 5.12 ربط مقاييسات للقدرة لقياس قدرة الحمل، الثلاثي الاطوار بثلاث اسلاك

وفي حالة عدم الاتزان ووجود الحمل بشكل نجمي وظهور سلك التعادل تستخدم ثلاثة مقاييس للقدرة ذوي الطور الواحد وتكون القدرة الكلية هي مجموع القراءات ويحتمل أيضاً أن تكون إحدى القراءات سالبة بسبب عامل القدرة لذا يجب العناية بالربط الصحيح وأخذ الاشارات بنظر الاعتبار عند الجمع .

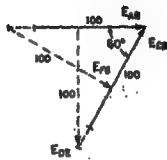
5.6-3 مقياس القدرة الخيالية (فار VAR) :

نحتاج في قياسات منظومات القدرة المختلفة الى معرفة قيمة القدرة الخيالية أو القدرة المتفاعلة فضلاً عن القدرة الحقيقية . ويدعى الجهاز المستخدم لهذا الغرض فارميتر حيث يقرأ حاصل ضرب التيار في الفولتية المتفاعلة . والجهاز أساساً يشبه الواطميتر وهو يحوي أداة الازاحة الطور 90° عن فولتية الحمل الاصلية .

يمكننا اجراء هذا النوع من الازاحة بزاوية الطور في دائرة طور واحد بدائرة تحوي مكونات R ، L ، C ، ويقادير يمكن حسابها لهذا الغرض ولكن لتردد واحد وهناك طريقة أخرى لاحداث الازاحة في زاوية الطور بمحولة وكما موضح في الشكل (5.13) .



(أ)



(ب)

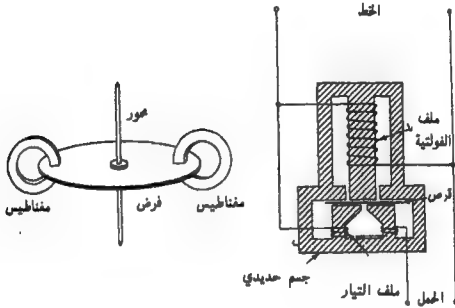
الشكل 5.13 ربط ملفات المحولة لاحداث ازاخة 90 في الطور لأغراض مقياس القدرة المتفاعلة (أ) نقاط ربط ملفات الحول (ب) الخطط الطوري

يوضح الشكل السابق محولة ربطت بشكل مثلث مفتوح كما ربطت أسلاك الخط إلى A ، B ، C حيث يمكننا الحصول على قيمة فولتيتين لها قيمة فولتية الخط نفسها ولكن بزاوية طور 90° . فلو اخترنا نقاط الربط D وهي 87.7 بالمائة من طول الملف AB والنقطة E وهي 15.4 بالمائة خلف C فإن مخطط طور الفولتيات من D إلى E هو 100 بطول وحدة مثل A-B ولكن D-E زاويته 90° عن A-B وكذلك F.G بطول 100 وحدة و 90° عن C-B ولو ربطنا مقياس القدرة كما في ربط مقياس القدرة (A و C) عدا أن مقياس القدرة A يربط تكون الفولتية فيه D-E بدلاً من A-B ومقياس القدرة C ويربط بالفولتية F.G بدلاً من C-B لحصلنا على 90 زحف والمقاييس تقرأ القدرة المتفاعلة .

5.7 مقياس الطاقة (واط - ساعة) :

يوضح الشكل (5.14) مقياس الطاقة المستخدم في المحلات والابنية المتكيفة والبيوت والتي تمتلك الطاقة الكهربائية بطور واحد . فملف التيار يربط على التوالي مع الخط وملف الفولتية عبر الخط . وكل من الملفين ملفوفين على الهيكل الحديدي نفسه مكونة دائرتين مغناطيسيتين . ويوجد قرص معلق من الألمنيوم في الفجوة الهوائية في مجال ملف التيار والذي يسبب

تكوين التيارات الدوارة فيه حالة مرور التيار الى المستهلك . ونتيجة تداخل المجال الذي يسببه ملف الفولتية ووجود التيارات الدوارة في القرص يتسبب عزم دوران على القرص (يشبه دوران المحركات) والعزم الناتج يتناسب مع شدة المجال للملف الفولتية والتيارات الدوارة في القرص والتي تكونت هي الاخرى بسبب مجال ملفات التيار .



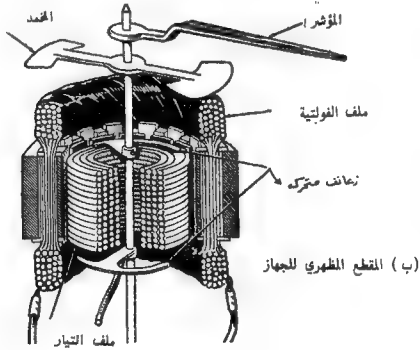
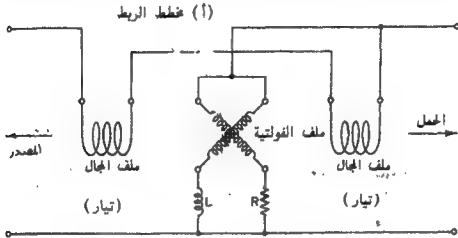
الشكل 5.14 مكونات مقياس الطاقة

إن عدد الدورات للقرص يتناسب مع الطاقة المستهلكة من قبل الحمل لفترة معينة وتقاس عادة بالكيلو واط - ساعة (kwh) والمحور الذي يتركز عليه القرص يتصل بمحركات ومؤشرات تتحرك بموجب كمية استهلاك الطاقة وتؤثر كمية الـ kwh . يمكن مضاعفة حركة القرص بمغناطيسين دائمين موضوعين على جانبي القرص الواحد عكس الآخر . وإن ذلك يعمد عن النابض والانتقال التقليدية الموجودة في المقاييس الاخرى .

يمكن معايرة الجهاز بتحريك أماكن المغناطيس الدائم إلى أن يقرأ القراءة الصحيحة ثم يربط إلى الحمل .

5-8 مقياس عامل القدرة :

يعرف عامل القدرة بأنه جيب تمام زاوية الطور بين الفولتية والتيار. ويمني قياس عامل القدرة معرفة زاوية الطور. يتكون الجهاز من دايانوميتر إلا أن الملف الدوار يتكون من جزئين متصلين بحدور واحد ومتعامدين على بعضهما البعض. وتدور الملفات المتحركة في مجال يكونه ملف المجال الذي يحمل تيار الحظ. لاحظ الشكل (5.15).

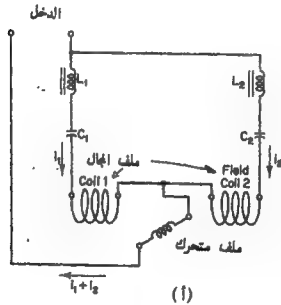


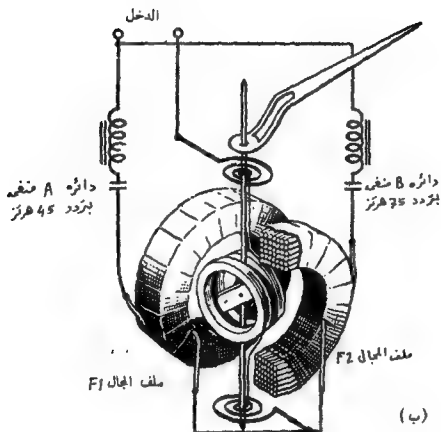
الشكل 5.15 مقياس عامل القدرة

تعتمد محصلة العزم في كل ملف على التيار خلال الملف وعليه يعتمد على بمانعة دائرة ذلك الملف . ويعتمد العزم أيضاً على الممانعة التبادلية بين كل جزء من الملفات المتعامدة وملف المجال الثابت وتعتمد الممانعة التبادلية هذه على الوضع الزاوي لكل من الملفات المتعامدة نسبة الى وضع ملف المجال الثابت . ولذا فأن المؤثر يبين عامل القدرة للاحمال حسب نوعها .

5-9 مقياس التردد :

يمكن معرفة التردد بطرق متعددة منها استخدام تأثير الممانعة التبادلية ورنين الدائرة الكهربائية والرنين الميكانيكي . او بوساطة الاجهزة الالكترونية الحديثة مثل الراسم الكهربائي ومعدات التردد وغيرها .
• ومثال لاستخدام رنين الدائرة الكهربائية هو موضح في الشكل (5.16) والمكون من مقياس تردد يستخدم هذه الفكرة . ويلاحظ من الشكل بأن التيار المسبب لعزم الدوران هو مجموع تياري دائرتي الرنين حيث :





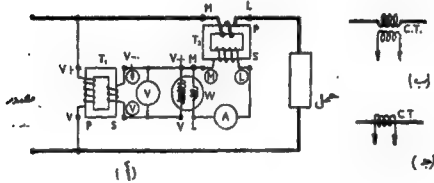
الشكل 5.16 مقياس التردد

(أ) غطط الربط (ب) المقطع المظهري للجهاز

- ١ - الملف 1 يعمل فوق الرنين والتيار i_1 يختلف عن الفولتية المسلطة .
 - ٢ - الملف 2 يعمل تحت الرنين والتيار i_2 يسبق الفولتية المسلطة .
- لذا فإن التيارين متعاكسين ومحصلة العزم هو دليل التردد المسلط . في حالة استخدام الجهاز لقياس تردد القدرة الكهربائية على الخطوط فإن كل من دائرتي الرنين تنظم على الترددات 75Hz و 45Hz لأن تردد الخط بالوسط 50Hz أو 60Hz .

5.10 محولات الاجهزة :

تستخدم محولات التيار (C.T) ومحولات الفولتية (V.T) لزيادة تدرج بعض الاجهزة مثل مقاييس التيار والفولتية والقدرة وكذلك مقاييس عامل القدرة والتردد وغيرها من الاجهزة المستخدمة في لوحات القدرة الكهربائية العالية . والشكل (5.17) يوضح استخدام محولات الاجهزة .



الشكل 5.17 دائرة ربط محولات التيار والفولتية مع اجهزة القياس . . .

محولة الفولتية T_1 فيها فولتية الثانوي قليلة نسبياً بالمقارنة مع فولتية الابتدائي العالية وبمعايرة مقياس الفولتية يمكن قراءة الفولتية العالية ولو أن الفولتية التي تصل المقياس تكون واطئة وبنفس الطريقة يمكن الاستفادة من محولة التيار T_2 بحيث يكون التيار الذي يصل المقياس قليلاً نسبة إلى التيار الابتدائي ويعبر تدرج المقياس نسبة إلى تيار الحمل العالي . وأما مقياس القدرة والذي يحوي ملفين أحدهما للتيار والآخر للفولتية فإنه يمكن الاستفادة من محولتي الفولتية والتيار لقراءة القدرة .

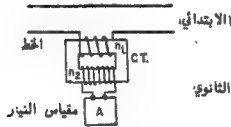
وعليه يلاحظ بأن مقاييس الاجهزة في دوائر التيار المتناوب تستخدم لزيادة تدرج المقاييس فتقوم مقام المقاومات المضاعفة في مقاييس الفولتية والمقاومات المخفضة في مقاييس التيار فضلاً عن الفائدة الأخرى وهي عزل الفولتية العالية والتيار العالي عن المقاييس كهربائياً حيث يبقى الاتصال عن طريق المجال المغناطيسي وعليه فلا يتطلب أن تكون الاجهزة ذات عزل خاص ويمكن تأريضها ليكون استخدامها آمناً وخالياً من الخطورة .

هذا ولا يغيب عن البال بأن القدرة الضائعة نتيجة استخدام هذه المحولات اقل بكثير من القدرة الضائعة في المقاومات المضاعفة او المجهزة .

5.10.1 محولات التيار (C.T) :

تستخدم محولات التيار لقياس تيار الخط او المصدر في منظومة التيار المتناوب حيث يربط الملف الابتدائي على التوالي مع سلك الخط والملف الثانوي يربط مع المقياس او المقاييس مثل مقاييس التيار والقدرة والطاقة وغيرها . ويكون الربط كالبيان في الشكل (5.18) يختلف حول التيار عن محول القدرة المعروف في ناحيتين الاولى أن اشتغال محول التيار يعتمد على حالة الدورة القصيرة حيث أن تيار الثانوي (وهنا يستخدم مصطلح « المحدد ») يكون ذو ممانعة واطئة .

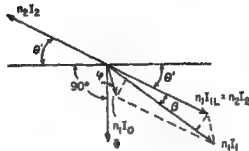
والثانية هي أن تيار ملف الثانوي يعتمد على تيار الملف الابتدائي وليس على ممانعة الدائرة الثانوي كما هو الحال بالنسبة الى محولات القدرة . ويتحدد تيار الابتدائي نسبة الى الاحمال المتصلة بالخط وإن تيار الثانوي ينسب الى الابتدائي بنسبة مقلوب عدد اللفات .



الشكل 5.18 ربط التيار على خط ذو طور واحد .

هذا وإن محدد الثانوي يمكن أن يغير لدى كبير دون أن يحصل تأثير كبير على تيار الثانوي وهذه خاصية مهمة للمحول لأغراض القياس .

إن النسبة الحقيقية للتيارات يمكن إيجادها بواسطة حاصل ضرب التيارات في عدد اللفات وذلك للحصول على مخطط طوري متناسق كما موضح في الشكل (5.19) :



الشكل 5.19 مخطط الامبير - لفة حول التيار .

حيث أن المركبة $n_1 I_1$ (I_1 تيار الحمل) يساوي $n_2 I_2$ (I_2 تيار المقياس) .
 وإن $n_1 I_2$ تمثل القوة الدافعة المغناطيسية mmf لتكون المقاومة المغناطيسية في
 اللب الحديدي .
 وإن محول التيار المثالي يعطي تياراً ثانوياً بموجب نسبة اللفات وبزاوية طور
 180 درجة . وإن المحولات المثالية تختلف عن الحقيقية بمقدار التيار I_0 وتنسقيط
 المقادير الطورية على $n_1 I_1$:

$$n_1 I_1 = n_2 I_2 \cos \beta + n_1 I_0 \cos (90^\circ - \theta' - \phi - \beta)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \cos \beta + \frac{I_0}{I_2} \sin (\theta + \phi + \beta)$$

وبما أن β صغيرة جداً ومحدود درجة واحدة أو اقل فإن النسبة تصبح :

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{n_2}{n_1} + \frac{I_0}{I_2} \sin (\theta - \phi)$$

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{n_2}{n_1} \left[1 + \frac{I_0}{I_1} \sin (\theta - \phi) \right]$$

ويلاحظ من المعادلة الأخيرة بأن الحد الأول بين الأقواس هو نسبة اللغات في حالة المحولة المثالية والحد الثاني هو لتصحيح الخطأ . ويلاحظ بأنه يفضل أن تكون نسبة (I_0 الى I_1) قليلة أو أن I_0 نفسها تكون قليلة وأن ذلك يتطلب أن يكون لب المحلول الحديدي ذو نفاذية عالية وأما العامل ($\phi - \theta$) \sin فيعتمد على نوع المحدد فيكون صغيراً للمحدد المقاومي وكبيراً للمحدد الحثي وأما زاوية الطور بين التدفق والتيار ϕ فيعتمد على مادة اللب وتكون صغيرة للـب الذي فيه الضياع قليلاً .

وأما معادلة الزاوية β فيمكن اشتقاقها من الشكل حيث :

$$\tan \beta = \frac{n_1 I_0 \sin(90 - \phi - \theta - \beta)}{n_2 I_2 \cos \beta}$$

وبما أن زاوية θ صغيرة فيمكن إعادة كتابة المعادلة بالشكل الآتي وذلك بالاستفادة من قانون الفرق بين جيبتيّام زاويتيّن وعلى أن $\cos \beta = 1$

حيث :

$$\tan \beta = \frac{n_1 I_0 \cos(\phi - \theta)}{n_2 I_2}$$

وبالتقريب حيث $n_1 I_1 = n_2 I_2$ نحصل على :

$$\text{زاوية نصف نظرية } (\phi - \theta) \approx \frac{I_0}{I_1} \cos \beta$$

تدعى الزاوية β بزاوية طور الخطأ بسبب عدم التمكن من حصول الحالة المثالية في فرق زاوية الطور بـ 180° درجة بين تيارى الابتدائي والثانوي .

إن من محددات محولات التيار حالة اشباع اللب الحديدي حينها يكون تيار الابتدائي عال جداً والمحدد الآخر هو الحفاظ على أن تكون ممانعة الثانوي وإطئة جداً ويجب تجنب فتح نهايات الثانوي عندها سوف تستمر فولتية الثانوي بالصعود بسبب عدم موازنة زيادة الاكبير - لفة للابتدائي . وربما تصل فولتية

الثانوي الى 1000 فولت . وهي خطرة للأشخاص والاجهزة المرتبطة بالملف الثانوي .

مثال :

محول تيار نسبة التحويل فيه 1000/s . أمبير ممانعة الثانوي $0.3 + j0.4$ أوم عند قيمة تيار الاشتغال $I_1 \cos \theta = 6A$, $I_1 \sin \theta = 1.5A$, عدد لفات الابتدائي 4 لفات أحسب نسبة خطأ زاوية الطور عندما يكون عدد لفات الثانوي (أ) 800 لفة (ب) 795 لفة .

والفرق الجوهري هو :

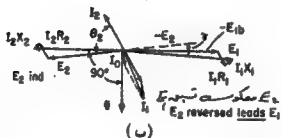
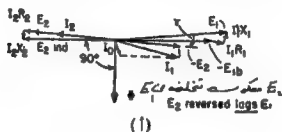
أولاً :

الاهتمام في محولات الفولتية بدقة نسبة التحويل أكبر .

ثانياً :

تقليل المهبوط في ملفات محولات الفولتية قدر الامكان لمنع فرق الطور وخطأ نسبة التحويل .

والاشكال الآتية توضح ذلك في حالة كون المهدد أي ممانعة المقياس تشكل عامل قدرة واحد وعامل قدرة 0.5 ويمكن اتخاذ القرار من الاشكال بأن E_2 متخلفة عن E_1 وللعمل المقاومي :



الشكل 5.21 يبين تأثير عامل القدرة على علاقة المقادير الطورية لمحول الفولتية

(أ) عامل القدرة واحد

(ب) عامل القدرة 0.5

$$\phi = \tan^{-1} \frac{0.3}{0.4} = 36^\circ 52'$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1.5}{6} = 14^\circ 2'$$

$$\therefore 90 - (\theta + \phi) = 39^\circ 6' \quad \text{الحل :}$$

$$n_1 I_1 = 4 \times 1000 = 4000 \quad \text{من المخطط الطوري :}$$

$$n_2 I_0 = 800 \sqrt{6^2 + 1.5^2} : 800 \times 6.186$$

$$\frac{n_2}{n_1} \frac{I_2}{I_1} = \frac{800 \times 6.186}{4000} \quad (14^\circ 2' + 36^\circ 52') \quad \text{خطا نسبة التيار}$$

$$n_2 = 800 \text{ عندما}$$

وبالطريقة نفسها توجد النسبة عندما $n_2 : 795$

$$\beta = \frac{I_0}{I_1} \cos (\theta + \phi) \quad \text{خطا الطور}$$

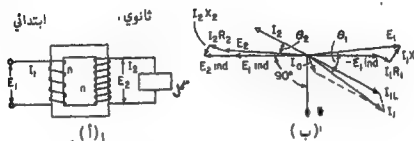
$$= \frac{6.186}{1000} \cos (14^\circ 2' + 36^\circ 52') =$$

وهو نفسه للحالة الثانية بسبب صغر الزاوية .

5.10.2 محولات الفولتية (V.T) :

تستخدم لتشغيل مقاييس الفولتية والقدرة وملفات الفولتية في المرحلات . وفي جميع الاستعمالات تكون فولتية الثانوي جزء من فولتية الابتدائي ولبعض الاستعمالات يكونان بنفس الطور ولا يوجد فرق جوهري بين هذا النوع من

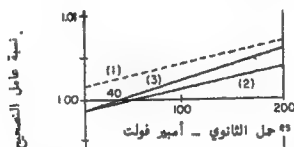
المحولات ومحولات القدرة الاعتيادية إلا في قدرتها القليلة وعزل الملف الثانوي عن الابتدائي الخاص وتأريضه لأغراض الأمان ، وإن المخطط الطوري مشابه وكما موضح في الشكل أدناه :



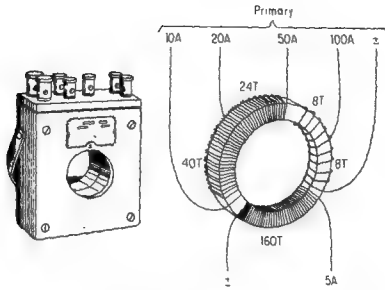
الشكل 5.20 مخطط محول القدرة او محول الفولتية
(أ) ربط المحول (ب) المخطط الطوري

وتسبق للحمل الحثي وكذلك نسبة E_1/E_2 اكبر عندما تكون زاوية طور الحمل او المحدد نفس زاوية الطور المحول . والنقطة الاخرى الواجب ذكرها هو أننا لو زدنا عدد الفولت - أمبير فإن هبوط الفولتية وخطأ نسبة التيار يزداد والشكل التالي يوضح ذلك .

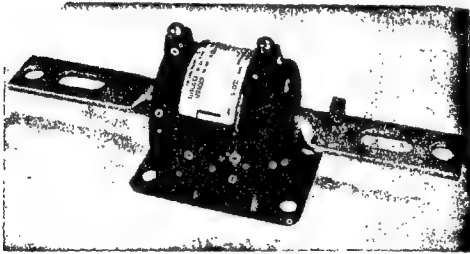
يوضح الشكلان (5.23) و (5.24) أنواعاً مختلفة من محولات التيار والفولتية والتي تستخدم في الناحية العملية .



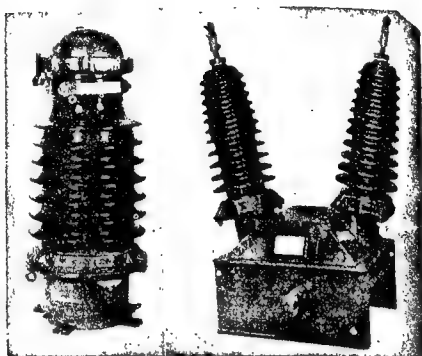
الشكل 5.22 متعنيات عامل تصحيح النسبة محول الفولتية .
(١) نسبة اللفات = نسبة الفولتية المقررة (عامل القدرة واحد)
(٢) زيدت لفات الثانوي (عامل القدرة واحد)
(٣) زيدت لفات الثانوي (عامل القدرة 0.5)



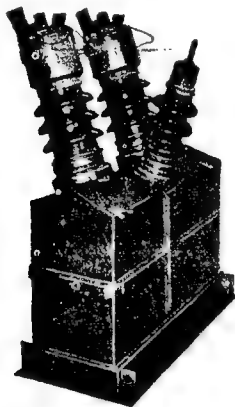
(أ) محولة تيار ربط ومطهر للأغراض المختبرية



(ب) محولة تيار مطهر خارجي لأغراض لوحات القدرة العالية



(ح) مظهر خارجي لأحد أنواع محولة الفولتية



(د) مظهر خارجي لنوع آخر من محولات الفولتية

الشكل 5.23 أنواع مختلفة من محولات التيار والفولتية .

مسائل الفصل الخامس

- السؤال الاول : ضع علامة صح لواحد من النصوص الثلاثة لكل سؤال
- ١ . يستعمل الجهاز الكهروديناميكي Electrodynameter لقياس :
 - أ - فولتية وتيار الـ d.c.
 - ب - القدرة وعامل القدرة
 - ج - التردد وزاوية الطور
 - ٢ . اساس عمل الجهاز الكهروديناميكي يعتمد على العزم الذي يتناسب مع :
 - أ - التيار
 - ب - مربع التيار
 - ج - حاصل ضرب التيار وعدد لفات الملف الدوار
 - ٣ . جهاز متحرك الحديد Moving Iron الاكثر شيوعاً في الاستعمال هو نوع :
 - أ - التجاذب
 - ب - التنافر
 - ج - التجاذب والتنافر مناوياً الأهمية
 - ٤ . يستخدم جهاز التقيويم Rectifier type Inst. لقياس :
 - أ - الفولتية المستمرة
 - ب - التيار والفولتية المتناوبة
 - ج - التردد
 - ٥ . في اجهزة التقيويم الكاملة مكافئ الـ d.c. المسلط على الملف يساوي :
 - أ - 0.9 قيمة ج د م ت للفولتية على نهايات الجهاز .
 - ب - 0.45 قيمة ج د م ت للفولتية على نهايات الجهاز .
 - ج - 1.11 قيمة ج د م ت للفولتية على نهايات الجهاز .
 - ٦ . أ - في اجهزة نصف التقيويم، واجب ثنائي التوالي D_1 لفرض التقيويم وثنائي التوازي D_2 لمنع وصول الجزء السالب من الموجة الى الملف الدوار .
 ب - واجبات D_1 و D_2 معكوس ما ذكر في (أ) اعلاه
 ج - يقوم كلا من الثنائيات D_1 و D_2 بمنع نصف الموجة الموجب والسالب من الوصول الى الملف الدوار على التعاقب .
 - ٧ . ملف التصحيح compensating في اجهزة الواطميترات الفرض منه :
 - أ - يساعد في قراءة القدرة للترددات العالية
 - ب - يصحح قراءة الواطميتر
 - ج - يحسن عامل القدرة

٨. يعمل مقياس الطاقة على أساس تأثير :

- أ - المجال المغناطيسي للملف الفولتية مع التيار الدوار في القرص .
 - ب - المجال المغناطيسي للملف الفولتية مع المجال المغناطيسي للملف التيار .
 - ج - المجال المغناطيسي للملف الفولتية والتأثير الحراري لتيار الحمل .
٩. يحوي مقياس التردد :

- أ - دائرة رنين واحدة
 - ب - ثلاثة دوائر للرنين
 - ج - دائرتي رنين
١٠. محولات التيار والفولتية تتواجد في :
- أ - لوحات الضغط العالي
 - ب - لوحات الضغط الواطيء
 - ج - في قاطع الدورة الدهنى .

السؤال الثاني :

أ) ارسم دائرتي الاوميتير المتوالي والاواميتير المتوازي مبيناً العناصر المهمة للدائرة على الرسم فقط .

ب) صمم اواميتير نوع المتوالي الذي فيه تيار الملف المتحرك لا انحرف اقصى تدرج 1.0mA والمقاومة الداخلية للملف 50Ω . فاذا كانت فولتية البطارية 6V وقيمة مقاومة منتصف التدرج المرغوبة 3000Ω . احسب .
(أ) قيمة كل من مقاومة تحديد التيار ومقاومة التصغير ب) المدى الذي يتم تغير مقاومة التصغير في حالة تغير فولتية البطارية من 5.5V الى 6.5V مستعملأ قيمة مقاومة تحديد التيار المستخرجة في الفرع (أ) اعلاه .

السؤال الثالث : أ) ارسم مخطط جهاز مقياس القدرة (واطميتير) مبيناً فيه

ربط ملف التصحيح ومع ذكر فائدته ؟

ب) القياس الموضح في الشكل ادناه فيه :

المقاومة الداخلية للملف $R_m = 200\Omega$

المقاومة الموازنة للملف $R_{sh} = 200\Omega$

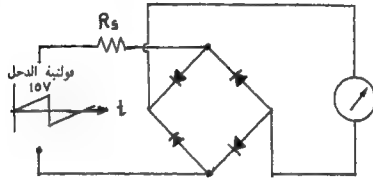
تيار اقصى تدرج $I_m = 1\text{mA}$

المقاومة الامامية لكل مقوم (Diode) $r_b = 50\Omega$

إذا علمت ان فولتية الدخل كانت موجه بشكل مثلثي ارتفاعه الاقصى 20V بتردد 50Hz احسب :

السؤال الخامس :

جهاز فولتميتر a.c ذو تقويم كامل الموجة كالمبين في الشكل أدناه . مقاومة الملف المتحرك 200Ω ونيار أقصى انحراف للتدريج 1 ملي أمبير . المقاومة الامامية للشائيات 100Ω والمقاومة العكسية لانهية . احسب (أ) قيمة R_g لانحراف كامل للمؤشر على التدريج اذا كان شكل الفولتية المسلطة عبارة عن مثلث واقصى قيمة للفولتية 10V والتردد 50Hz (ب) حساسية الجهاز .



السؤال السادس

صمم جهاز ملي ميتر بقرأ الفولتية والتيار والمقاومة وذو الخواص الآتية
 (أ) مدى الفولتية 0-5 ، 0-25 ، 0-100 ، 0-500 فولت نيار متناوب
 (ب) تدريج التيار 0-10 ، 0-100 ، 0-500 ، 0-1000 ملي أمبير
 (ج) مدى المقاومة 20 أوم 2000 أوم ، 200 كيلو اوم
 مقادر الملف 1500Ω وتيار اقصى تدريج $50 \mu A$
 لمانع من رسم كل جهاز على انفراد وبشكل مستقل .

السؤال السابع

فولتميتر تيار متناوب تجاري نوع نصف التقويم المقاومة الداخلية للمقياس (الملف) 100 أوم ويحتاج الى 1 ملي أمبير لانحراف كامل . المقاومة الامامية للشائيات $50 \times$ أوم والمقاومة العكسية لانهية . مقاومة التوازي R_{sh} عبر الملف 100 أوم .

- أ) ارسم المقياس ثم اوجد مقارنة التوالي R_1 اذا كانت قراءة اقصى تدريج المطلوبة 20 فولت (rms) يمكن تسليطها عبر نهايتي الجهاز .
 ب) تأشير المقياس عند تسليط موجة مثلثية اقصى قيمة لها 18 فولت يمكن تسليطها عبر نهايتي الجهاز .
 جـ) ما مقدار الخطأ في القراءة بسبب شكل الموجة في (ب)
 د) اوجد حساسية المقياس .

السؤال الثامن

جهاز قياس التيار المتناوب نوع التقويم الكامل يستخدم للترددات 50HZ . المقاومة الامامية للثنائيات المستخدمة في القنطرة 5 أوم والمقاومة العكسية 500 أوم . مقاومة الملف المتحرك 20 أوم اوجد تأشير المقياس اذا كان التيار المسلط على النهايات 4 ملي امبير (rms) .
 ملاحظة لا تستخدم مقاومات اضافية مع الملف بسبب قلة التيار .

السؤال التاسع

- اشرح مايلي
 أ - حساسية الفولتميتر التيار المتناوب أقل من فولتميتر التيار المستمر .
 ب - يعتمد عزم دوران الداينوموميتر على مربع قيمة التيار
 جـ - انواع الفولتميترات التي تتأثر قراءاتها بشكل الفولتية المسطرة .
 د - طريقة تعيير مقاييس الداينوموميتر .
 هـ - ربط الواطميتر في حالات يكون الحمل نباره صغير وحينها يكون تيار الحمل كبير .
 و - يمكن استخدام فكرة الداينوموميتر لقياسات مختلفة اذكر ماهي .
 ز - محولات التيار والفولتية ليست محولات قدرة بل انما هي محولات معدات واجهزة قياس اذكر الفرق .
 2 - هناك تحفظات في استخدام فولميتر الازدواج الحراري

السؤال العاشر

- ارسم مخطط الاجهزة الآتية
 أ - مقياس الطاقة
 ب - مقاييس الفولتية والتيار والقدرة ، للقدرة العالية .

قياس العناصر الكهربائية

يشمل هذا الفصل الطرائق والادوات المستخدمة في إيجاد قيم العناصر الكهربائية مثل المقاومة والمتعة والحث وغيرها والتي تدخل في كثير من الدوائر الكهربائية. ويستخدم في قياس العناصر الكهربائية وقيم الفولتية والتيارات المختلفة عدد من الوسائل والطرائق نحاول ذكر قسم منها وهي المجهاد والقناطر الكهربائية أما باقي الأجهزة فقد ذكرت في فقرات سابقة من الكتاب.

6.1 المجهاد واستخداماته :

المجهاد هو جهاز لقياس فولتية (أو ق. د. ك) أو فرق الجهد وذلك بواسطة فولتية معادلة يمكن الحصول عليها من مرور تيار معلوم في الشبكة المقاومة. وعلى الرغم من استخدام المجهاد لقياس هذه الكميات إلا أنه يعد ضمن أجهزة القياس الاعتيادية في الوقت الحاضر. إلا في حالات خاصة وفي القياسات الدقيقة. ويمكن تلخيص فوائد المجهاد واستخداماته في الحالات الآتية :

1. عند الحاجة إلى دقة قياس عالية لا يمكن الحصول عليها من أجهزة القياس ذات المؤشر المتحرك (مثل مقاييس الفولتية أو التيار).
2. عندما يحدث تأثير في المصدر المطلوب قياسه نتيجة مرور التيار ولو بقيمة قليلة خلال المقياس الاعتيادي. ولذلك يمكن استخدام المجهاد في هذه الحالة إذ يكون التيار فيه صغيراً جداً أو يساوي صفراً.

يمكن قياس القوة الدافعة الكهربائية (ق. د. ك) بصورة مباشرة بواسطة المهجاد وذلك نسبة الى ق. د. ك. خلية قياسية. اما للفولتيات العالية فيمكن قياسها باضافة صندوق مقاومات.

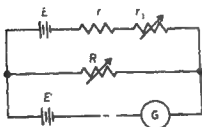
ويمكن قياس قيمة التيار المار في دائرة معينة بواسطة المهجاد وذلك باستخدام مقاومة قياسية. أما القدرة فيمكن الحصول على قيمتها من قياسات التيار والفولتية باستخدام المهجاد.

ومن ذلك يلاحظ أن المهجاد هو من الاجهزة الاساسية في القياسات الكهربائية.

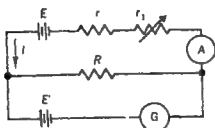
6.2 انواع المهجاد

يعتمد عمل المهجاد بصورة عامة على فكرة تعادل الفولتيات بين اجزاء المهجاد ويتم ذلك باحدى الطريقتين الاتيتين :

1. ضبط التيار بقيمة ثابتة وتغيير المقاومة كما هو موضح في الشكل (6.1).
2. ضبط المقاومة بقيمة ثابتة وتغيير قيمة التيار كما هو موضح في الشكل (6.2).



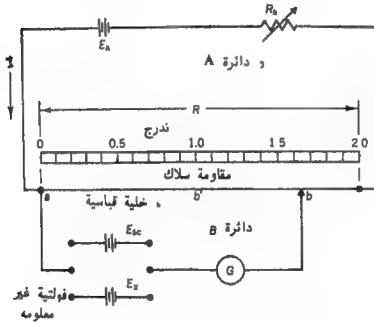
الشكل (6.1) دائره المهجاد ذات التيار الثابت



الشكل (6.2) دائرة المهجاد ذات المقاومة الثابتة

جهد التيار الثابت :

يربط مصدر قددك التي يطلب قياسها (e) مع كلفانومتر (G) عبر جزء من المقاومة R والتي يمر فيها تيار ثابت I بتأثير البطارية ويتم تغير الجزء ab المتصلة بـ E الى ان يشير الكلفانومتر الى قيمة الصفر أي لا يمر تيار في الدائرة B . ويلاحظ ان نقطة a ثابتة ، فعند الحصول على هذه الحالة المتوازنة تكون الفولتية $e = IR_{ab}$ وتكون المقاومة R في الجهد البسيط هي سلك ذو مقاومة متجانسة على طوله ويربط بجانب مسطرة لمعرفة اجزاء المقاومة نسبة الى طول السلك كما هو موضح في الشكل (6.3) . ومن اجل قياس فولتية معينة E_x دون



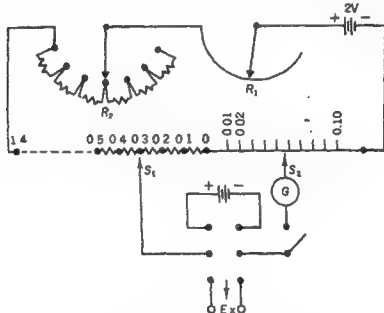
الشكل (6.3) استخدام الجهد في قياس فولتية غير معلومة .

للجوء الى حسابات يتم ضبط قيمة التيار المار بمقدار يمكن بواسطته أخذ القراءة بصورة مباشرة من الجهد وذلك باتباع الخطوات الآتية والتي تدعى بالتقييس . Standardization

- ١ . تربط فولتية قياسية معروفة E_{sc} في الدائرة B .
- ٢ . تحرك النقطة b الى الموضع التي تشير الى مقدار E_{sc} على السلك . (1.019 فولت مثلاً) .

٣. تضبط النقطة $\#$ عند الموضع صفر.
٤. يتم تغيير التيار في الدائرة A بواسطة المقاومة المتغيرة لمتغير (R) الى القيمة التي تجعل الكلفانومتر يقرأ صفراً.
٥. يغير المصدر E_{oc} بأخر غير معلوم E_x دون تغيير التيار I في الدائرة.
٦. تحرك النقطة (b) الى الموضع السدي يجعل الجهد متعادل (تأثير الكلفانومتر صفر).
٧. تؤخذ قراءة الجهد على المقياس (طول السلك).

ويلاحظ من هذا ضرورة الحفاظ على التيار I خلال القياس ولا نحتاج الى معرفة مقداره وقد تضاف بعض المقاومات الاضافية على التوالي لاختصار طول السلك المطلوب كما يلاحظ ذلك في الشكل (6.4).



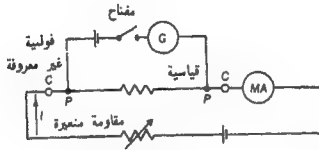
الشكل (6.4) الصيغة العملية للمجهاد الكهربائي.

6.3 قياس المايكرو فولت بالمجهاد :

لقد ذكرنا في الفقرات السابقة وصف الجهد الثابت وطريقة استخدامه . اما النوع الآخر وهو الجهد نوع المقاومة الثابتة فهو مناسب بصورة خاصة في

قياسات الفولتية الواطئة والتي تقع في حدود بضع مايكرووات من الفولت . وقد صمم هذا النوع في الاصل لقياس مقدار القوة الدافعة الكهربائية الناتجة عن عناصر الاقتران الحرارية وتستخدم المقاومة القياسية ذات النقاط الاربع عادة في عملية المقارنة .

يلاحظ الشكل (6.5) يولد التيار المار في المقاومة القياسية فولتية تعاكس الفولتية غير المعلومة (emf) خلال الكلفانومتر وتعطى المقاومة المتغيرة وسيلة لتعير التيار خلال المقاومة القياسية لمعادلة الدائرة طبقاً لما يشير مقياس التيار .



النكل (6.5) قياس المايكرو فولت بواسطة المههاد .

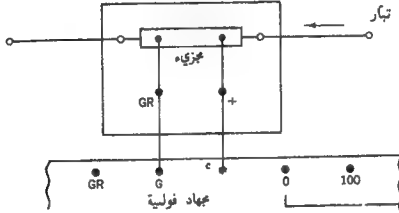
يمكن ضبط تدرج مقياس التيار وبتدرجات مختلفة 1 ، 10 ، 100 ، ... ، وذلك اذا تم اختيار المقاومة القياسية بصورة صحيحة . وعلى الرغم من ان هذا الجهاز لا يملك دقة عالية جداً الا أنه سهل الاستخدام ولا يحتاج الا الى تغيير المقاومات القياسية بواسطة مفاتيح عند الحاجة كما أنه يمتاز بإمكانية في قياس الفولتيات القليلة .

يمكن الحفاظ على استقرارية القراءات اذا تم عزل المههاد واجزائه في محيط او غلاف للسيطرة على درجة الحرارة المؤثرة على عمله بصورة خاصة .

6.4 قياس التيار بواسطة المههاد :

يمكن تحديد قم التيار بالمههاد وذلك لقياس قيمة الفولتية عبر مقاومة قياسية كما هو واضح في الشكل (6.6) ومن الواجب ملاحظة استخدام المقاومات

القياسية والتي لها تحمل او تفنين لا يقل عن اعلى تيار بطلب قياسه . ومن الضروري تقسيم قراءات المجهاد بواسطة مقاومة المجزء (shunt) لاجل الحصول على قراءات صحيحة للتيار .



الشكل (6.6) قياس التيار بواسطة المجهاد .

استخدام المجهاد في عملية ضبط الاجهزة :

يعد المجهاد احد الاجهزة المهمة في عملية الضبط لاجهزة القياس إذ يمكن الحصول على درجة عالية تصل الى 0.01 بالمائة في الدرجه الاعتيادي (0) الى 1.6 فولت) و0.015 بالمائة في التدرج الأقل دقه من ذلك . وبعد ذلك أفضل قراءة من ناحية القيمة مقارنة مع الاجهزة القياسية ذات المؤشر المستخدمة في المختبرات والتي تصل دقتها في حدود 0.1 بالمائة من قيمة المقياس الكامل في تدرج معين .

ونحاول الآن شرح احدى الطرائق المتعددة في عملية ضبط مقياس فولتية باستخدام المجهاد وقبل ان تجرى أية عملية ضبط يجب فحص الجهاز والتأكد من سلامته وخلوه من الاخطاء الميكانيكية مثل اعوجاج في المؤشر او صعوبة الحركة الميكانيكية نتيجة تراكم الاوساخ او اعوجاج في محور الجزء المتحرك .. الى آخره ويجب وضع الجهاز بوضع افقى او عمودي حسب نوع الجهاز وضبط الصفر الميكانيكي .

وبعد ذلك تجرى عملية الضبط التياري وذلك باستخدام خلية قياسية ويتم تغيير المقاومة الى حد الحصول على قراءة الصفر في الكلفانومتر .
كما تجرى عملية ضبط الفولتيات في كل تدرج والتأكد من التدرج الخطي للمقياس ويكون الفرق بين القراءة والفولتية الحقيقية هو الخطأ الجبري (زائداً او ناقصاً) للمجهاد والذي بوضوح في سجل لمقارنته مع الفحوصات السابقة واللاحقة وكذلك بدقة الجهاز المحددة من قبل الشركة . ويجب ضبط الجهاز عند تجاوزه هذه القيم . والا يعد الجهاز غير صالح للقياس .

6.5 مهاد التيار المتناوب :

لاحظنا أن فكرة المهاد في القياس هي عملية مقارنة بين فولتيتين بحالة ac وما دامت هذه الحالة صحيحة فيمكن استخدام هذه الفكرة لمقارنة فولتيتين بحالة ac (متناوبتين) .

وقد تم اقتراح عدد من هذه الدوائر المختلفة ولكن وجد أن لكل منها حدوداً معينة فيمكن مقارنة فولتيتين (ac) بدقة عالية ولكن لعدم توفر مصدر قياس ثابت (ac) كما في حالة الخلية القياسية (dc) فلا نتوقع الحصول على دقة عالية للمقارنة دون أن تكون المقارنة مع قيمة ثابتة وقياسية .

وقد نسأل لماذا تستخدم هذه الطريقة إذن ؟ إذا كانت الدقة لا تزيد عن 0.5 الى 1 بالمائة ؟ والجواب ان فائدة هذا النوع تكمن في المقارنة بين فولتيتين .

ويمكن كذلك استخدام مهاد الـ ac في قياس وفحص الدوائر المغناطيسية وكذلك في الحصول على قيم دقيقة للزاوية الطورية في المحولات . وازافة الى صعوبة الحصول على قيمة قياسية للفولتية (ac) فهناك بعض العوامل التي تحد من استخدام المهاد في حالة الـ ac . ومن هذه العوامل :

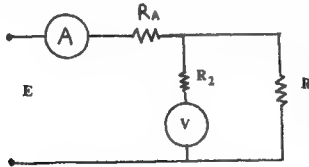
- 1 . يجب تزامن الفولتيات (ac) عند القياس او توازن المهاد أي يجب ان تكون الزوايا الطورية ثابتة وذلك اتساع كل من الفولتيتين .
- 2 . صعوبة القياس عند وجود توافقيات في الموجات المقاسة او احداها اذ يجب ادخال هذه الموجات الى مرشحات للتخلص من توافقيات معينة قبل القياس .
- 3 . يجب عزل المهاد عند الترددات العالية نسبياً لابعاد المهاد عن المجالات النشطة الموجودة في الهواء او الاسلاك المجاورة .

6.6 طرق قياس المقاومة :

يتم قياس المقاومة الكهربائية بصورة عامة باستخدام القناطر الكهربائية والتي تصل دقة القياس فيها بحدود 1 إلى مليون جزء ، وعلى الرغم من سهولة عملية القياس في مثل هذه القناطر إلا أنها تحتاج إلى أجهزة خاصة لذلك وخاصة حين الحاجة إلى الدقة العالية .

وقد تكون الدقة العالية في مقياس المقاومة غير ضرورية دائماً ويمكن إجراء عملية القياس بواسطة المقاييس التي تستخدم المؤشر المتحرك الذي يتوفر في المختبرات الكهربائية عادة ومن الطرق الشائعة طريقة تعتمد على قراءة مقياس الفولتية وقراءة مقياس التيار وقد تصل دقة هذه الطريقة في حدود 1 إلى 2 بالمائة وهي قيمة مناسبة في التطبيقات العملية الاعتيادية ويتم قراءة التيار المار في المقاومة بواسطة مقياس التيار في حين تجرى عملية قياس الفولتية عبر المقاومة نفسها ، وتكون قيمة المقاومة بعد ذلك هي النسبة بين قراءة مقياس الفولتية إلى قراءة مقياس التيار حسب قانون أوم .

تعتمد دقة القياس التي يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة على دقة المقاييس بصورة خاصة ومع ذلك فهناك عدد من النقاط التي يجب الانتباه إليها . فإذا لاحظنا الشكل (6.7) فإذا كان مقياس الفولتية مربوطاً (كما موضح في الشكل) عبر المقاومة R فتكون قيمة التيار المقاسة بواسطة مقبّاس التيار A هي مجموع التيار خلال المقاومة R زائداً التيار المار في مقياس الفولتية .



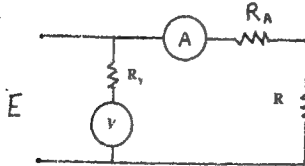
الشكل (6.7)

إذا كانت مقاومة مقياس الفولتية عالية مقارنة بقيمة R . فيمكن بذلك إهمال التيار المار خلال مقياس الفولتية وحساب قيمة المقاومة R حسب قانون أوم . أما إذا كانت مقاومة مقياس الفولتية غير عالية مقارنة مع R فلا يمكن إهمال التيار المار خلال مقياس الفولتية في هذه الحالة وسيظهر تأثيرها في قيمة التيار الكلي بصورة واضحة عند ربط مقياس الفولتية عبر المقاومة . ومع ذلك تتمكن من حساب المقاومة بالطريقة الآتية :

$$R = \frac{E}{I \left(1 - \frac{E}{IR_V} \right)}$$

إذا تمثل R_V مقاومة مقياس الفولتية الداخلية . ويمثل I التيار المار خلال مقياس التيار . فإذا كانت مقاومة مقياس التيار معلومة أو مهمة نسبة إلى المقاومة الخارجية فيمكن ربط مقياس الفولتية عبر المتوازي (الخارجية ومقاومة مقياس التيار) كما هو موضح في الشكل (6.8) ففي هذه الحالة تكون نسبة قراءة مقياس الفولتية إلى قراءة مقياس التيار تساوي المقاومة بين النقطتين الموصلتين بمقياس الفولتية . أي تتضمن النسبة (المقاومة) مقاومة مقياس التيار الداخلية ، وتكون قيمة المقاومة الخارجية :

$$R = \frac{E}{I} - R_A$$



الشكل (6.8)

اذ تمثل R_A قيمة مقاومة مقياس التيار .

ويضبط الجهاز بصورة صحيحة يمكن استخدامه في مقياس مقاومات وبدلة تصل الى 0.2 بالمائة ومن اجل الحصول على مثل هذه الدقة يجب ادخال مقاومة اسلاك التوصيل عند عملية الضبط .

6.6.1 القياس بمقياس المقاومة :

يستخدم مقياس المقاومة للاشارة الى قيمة المقاومة التي تربط مباشرة وتظهر القراءة عادة على مقياس تدريجي خاص بالمقاومة .

وهناك عدد من انواع مقاييس المقاومة يصنف عادة حسب فكرة عمله او مصدر الطاقة التي تحرك المؤشر او نسبة الى التدرج .

اما فكرة عمل مقياس المقاومة الشائعة الاستخدام في الناحية العملية فهي فكرة مقياس المقاومة الاساسية ومقياس المقاومة المعتمد على النسبة او التي تعتمد في عملها على طريقة قنطرة وينستون .

ويكون مصدر الطاقة في مقاييس المقاومة عادة بطارية جافة توضع داخل الجهاز يربط معها مقاومة متغيرة لضبط موضع الصفر في المقياس عند تغير قيمة البطارية بسبب الاستخدام المسمر او عند نركها مدة طويلة داخل الجهاز .

وهناك انواع اخرى تأخذ القدرة او الطاقة من الدائرة التي يطلب قياس مقاومتها وتكون قيمة الطاقة قليلة جداً . والنوع الاول هو الشائع .

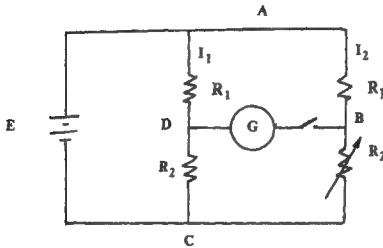
6.6.2 طريقة الجهد :

الجهد جهاز مناسب في قياس فرق الجهد عندما تحتاج الى تجنب سحب تيار من مصدر الفولتية . كما تكون مناسبة في القياسات الدقيقة والتي قد تصل دقتها في حدود 0.1 بالمائة والتي لا يمكن الحصول عليها الا بصعوبة في اجهزة القياس الاعتيادية الاخرى . ويمكن استخدام الجهد في قياس المقاومة وذلك بقياس التيار المار في المقاومة المجهولة وكذلك فرق الجهد عبر المقاومة نفسها . وبعد ذلك يتم مقارنة التيار والفولتية مع القيم الناتجة في مقاومة قياسية معلومة . فاذا حاولنا تشبيث التيار في الحالتين فإن نسبة المقاومات تعتمد على نسبة الفولتيات الناتجة أي :

$$R_x = R_s \frac{E_x}{E_s}$$

اذ تمثل R_x ، R_s قيم المقاومتين المجهولة والقياسية على التوالي .
وتمثل E_x و E_s قيم الفولتية عبر المقاومتين R_x و R_s على التوالي .

6.7 القناطر الكهربائية :



الشكل (6.9) قنطرة ويتستون

6.7.1 - قنطرة ويتستون Whetstone :

يمكن توضيح فكرة عمل هذه القنطرة بالرجوع الى الشكل (6.9) عندما يكون المفتاح المتصل بالكلفانومتر غير موصل . اذ تكون نقطة D بجهد معين بين جهدي نقطتي A و C . كما تكون نقطة B بجهد ذي قيمة تقع بين جهدي A و C ويكون تحديد نسبة قيمة هذا الجهد اعتاداً على قيمة R_1 و R_2 بقم نجل الجهد في النقطة B مساوياً للجهد عند النقطة D وذلك بتغير قيمة المقاومة R_4

فإذا حصلنا على تيار قريب جداً من الصفر أو مساوياً للصفر في الكلفانومتر عند توصيل المفتاح - يقال للقنطرة في هذه الحالة بأنها في موضع التوازن

ويكون التيار I_1 المار في المقاومة R_3 في حالة التوازن مساوياً للتيار المار في R_1 كما يكون التيار I_2 المار في المقاومة R_2 مساوياً للتيار المار في المقاومة R_4 وبما أن جهد النقطتين B و D متساو - أي أن فرق الجهد A إلى D يساوي فرق الجهد A إلى B ويمكن كتابة ذلك بالآتي :

$$I_1 R_1 = I_2 R_L$$

$$I_1 R_3 = I_2 R_4$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_4} \quad \text{وبالقسمة}$$

$$R_3 = \frac{R_1}{R_2} R_4$$

أذن إذا علمنا قيم المقاومات الثلاث يمكن حساب قيمة المقاومة الرابعة . ويجب ملاحظة أن هذه العلاقة بين المقاومات صحيحة عند حالة التوازن فقط .

تدعى هذه الدائرة بقنطرة ويستون وهي من أشهر الطرائق في قياس قيم المقاومات ذات القيم المتوسطة . وتعتمد دقة القياس الناتجة على قيم المقاومات المستخدمة وقد تحصل على 0.02 إلى 0.03 بالمائة في القناطر التجارية الجيدة . ومن مميزات هذه الطريقة عدم اعتمادها على فولتية المصدر ولا تتأثر حالة التوازن وحساسية القنطرة عند التغيرات المفاجئة في قيمته .

وتتوفر قنطرة ويستون في الناحية العملية بعدد مختلف من الهيئات إلا أن فكرة عملها واحدة ، فمنها ما يستخدم للتوضيح والشرح والمكون من أسلاك ومقاومات شبيهة بالجهد ويمكن مشاهدة حالة التوازن في طول معين من السلك عند تحريك النقطة المتحركة عليه . كما قد تتوفر نوع آخر يستخدم في المختبرات وبعض المصانع والتي تنتظم المقاومات R_1 و R_2 و R_3 في صندوق واحد ويمكن تغيير قيمتها عند الحاجة لذلك بواسطة مفاتيح دوارة . فضلاً عن وضع نقاط توصيل خاصة لربط مصدر القدرة (البطارية) وجهاز الكلفانومتر . وتكون كلا من المقاومتين R_1 و R_4 مكونة من أربع مقاومات هي :

(10, 100, 1000, 10000) أوم كما تكون المقاومة R_4 من قرص واحد أو أكثر مقسم اجزاء يمكن قراءة الاجزاء الصغيرة الموضحة عليه .

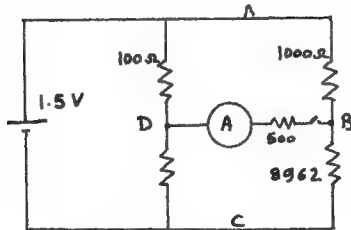
تدعى المقاومتان R_1 و R_2 بذراعي النسبة اذا تعطي $\frac{R_1}{R_2}$ النسبة التي تضرب بها المقاومة R_4 للحصول على المقاومة المجهولة R_3 وتكون قيمة هذه النسبة تساوي واحد عادة وتحتاج في بعض الاحيان الى تغييرها من اجل الحصول على توازن نهائي للقنطرة .

ويجب التذكر دائماً بربط المقاومة المجهزة على التوازي مع الكلفانومتر في بداية عملية القياس اذ يتوقع ان يكون التيار فيه عالياً ثم تزال او تخفض هذه المقاومة تدريجياً .

يمكن قياس حساسية القنطرة بالتيار الخارج من التوازن (أو انحراف الكلفانومتر التابع له) والنتائج من الخروج عن حالة التوازن قليلاً . ويمكن الرجوع الى بعض المصادر للحصول على طريقة معالجة حساسية القنطرة وخاصة في القياسات الدقيقة .

مثال (6.1) :

ربطت قنطرة بطريقة وبستون كما هو موضح في الشكل (6.10) قيمة 100 ربطت قنطرة بطريقتين وبستون كما هو موضح في الشكل (6.10) قيمة 100 $R_1 = 1000$, $R_2 = 8962$, $R_4 = 500$ أوم . وقيمة المصدر E هي 1.5 فولت ومقاومة داخلية تساوي صفراً كما تكون مقاومة الكلفانومتر هي 500 أوم .



الشكل (6.11) قنطرة المثال 6.1

اوجد قيمة R_3 والتيار الخارج من التوازن اذا ازدادت R_4 بمقدار 1 أوم .

$$R_3 = \frac{R_1}{R_2} \quad R_4 = \frac{100}{10000} = 89.62$$

$$= 89.6 \Omega$$

وبحل الدائرة بواسطة ثيفن عند حالة الخروج من التوازن المعطى نحصل على الفرق في الجهد وكما يلي بعد حذف G .

$$\text{فرق الجهد بين A الى D} = 1.5 \times \frac{100}{189.62}$$

$$\text{فرق الجهد بين A الى B} = 1.5 \times \frac{10000}{189.63}$$

$$\text{فرق الجهد بين D الى B} = 1.5 \times \left(\frac{100}{189.63} - \frac{100}{189.62} \right)$$

$$= 41.8 \times 10^{-6} \text{ فولت}$$

وكذلك فإن مقاومة الدائرة عند النظر اليها من النقطتين BD هي مجموعة التوازي المولفة من R_3 و R_1 على التوالي مع المجموعة المكونة من R_2 و R_4 اي :

$$\frac{100 \times 89.62}{189.62} + \frac{10000 \times 89.63}{189.63} = 47.3 + 4730$$

ومن ثم وبعد ربط G في موضعه يكون التيار خلاله هو :

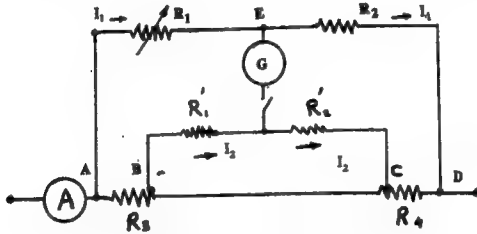
$$\frac{41.8 \times 10^{-6}}{4777 + 500} = 0.745 \times 10^{-8} \text{ امبير}$$

6.7.2 قنطرة كلفن المزدوجة :

ان الاخطاء الناتجة من مقاومة التوصيل والتلامس ومقاومات الاسلاك وعامل الحساسية كل هذه العوامل تجعل من قنطرة ويتستون غير مناسبة في قياس المقاومات الصغيرة . يوضح الشكل (6.12) قنطرة كلفن المزدوجة حيث تمثل R_3 المقاومة المراد قياسها و R_4 هي مقاومة صغيرة قياسية .

وتمثل R_1 و R_2 صندوقان من المقاومات وكذلك تكون قيمتا R_2 و R_2 ملفات بقم 10 او 100 او 1000 او 10000 اوم ويتم اختيارها بفتح اختيار خاص .

وتكون التيارات في القنطرة عند حالة التوازن كما هو موضح في الشكل (6.12) .



الشكل 6.12 طريقة قياس المقاومة الصغيرة

اذن :
فرق الجهد بين A الى E = فرق الجهد بين A و F

$$I_1 R_1 = IR_3 + I_2 R_2 \quad \text{اي}$$

$$IR = R_1 \left(I_1 - \frac{R_1}{R_1} I_2 \right) \quad \text{او}$$

وبطريقة مشابهة :

$$I_1 R_2 = IR_4 + I_2 R_2$$

$$IR_4 = R_2 (I_1 - \frac{R_2}{R_1} I_2) \text{ او } I_2$$

فإذا كانت قيمة $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_2}{R_2}$ تكون القيم داخل الأقواس متساوية ويقسم المعادلتين نحصل على :

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$$

وهذه هي حالة التوازن كما ورد ذلك سابقا .
وتكون هذه القنطرة ذات ميزات جيدة إذا تم ضبط المساواة بين $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ وفيها عد ذاك يجب ادخال التأثير الحاصل من عدم المساواة .

6.8 قياس المقاومات العالية :

نحتاج في بعض التطبيقات العملية قياس القيم العالية للمقاومات والتي تتجاوز 10^6 اوم واهم هذه الحالات هي :

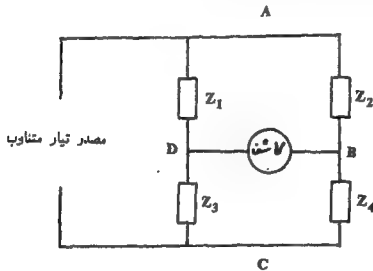
- ١ . قيم المقاومات العالية في عناصر الدائرة .
- ٢ . مقاومة المزل لبعض العناصر في الاجهزة المختلفة .
- ٣ . المقاومة الحجمية للمواد اي المقاومة بين سطحين وباهاماد قياسية لتحديد عزل المادة مثلاً .

وقد لا نحتاج الى الدقة العالية في مثل هذه القياسات لذلك تكون دوائر القياس سهلة مقارنة بقياس المقاومة الصغيرة . وتكون التيارات في دائرة المقاومات العالية القيمة صغيرة جداً مما ينتج عنها بعض الصعوبات واهمها :

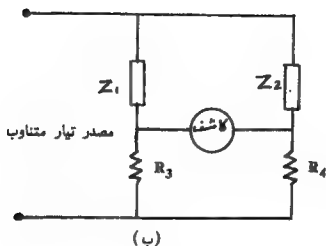
- ١ . تكون التيارات التسريبية بقم يمكن مقارنتها مع تيارات الدائرة نفسها .
 - ٢ . عند قياس مقاومة العزل ، تتراكم بعض الشحنات في الدائرة مما تكون متسمة قد تؤثر على الكميات المقاسة .
 - ٣ . محتاج الى رفع الفولتية في بعض الاحيان من اجل الحصول على تيارات عالية نسبية ليتمكن قياسها بصورة اسهل . وقد محتاج في كل الحالات الى مقاييس تيار او كلفانومتري ذات حساسية عالية نسبياً .
- ويجب اخذ الحذر في الحفاظ على هذه الاجهزة الدقيقة والغالية الثمن .

6.9 قناطر التيار المتناوب :

تعد قناطر التيار المتناوب من الطرق المهمة في القياسات الكهربائية . ويمكن اعطاء فكرة اولية عن هذه القناطر وذلك بالرجوع الى الشكل (6.13) والتي تشابه في قنطرة ويستون المذكورة في فقرة سابقة . ويكون كل ذراع حاوياً على ممانعة بدلاً من المقاومات وكذلك يتم تغيير البطارية والكلفانومتر الخاصين بمصدر ac وكاشف detector على التوالي .



(1)



الشكل (6.13) قنطرة ac .

ويتم معالجة فكرة هذه القنطرة بالطريقة نفسها المستخدمة في قناطر dc .
اي :

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

وهناك عدد من القناطر المختلفة التي تستخدم في قياس العناصر والكميات الكهربائية مثل الحثات والمتسعات والتردد ... وغيرها . وسنحاول ذكر قسم من هذه القناطر :

6.10 قناطر قياس الحثية :

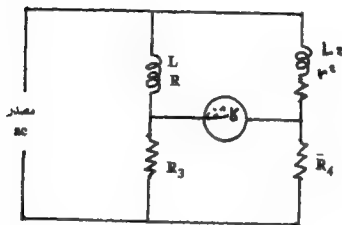
6.10.1. قنطرة ماكسويل - الحثية :

تستخدم هذه القنطرة عادة في مقياس الحثية وذلك بمقارنتها بحثية قياسية ، ويكون لها هيئة شبيهة بالهيئة الموضحة في الشكل (6.14) اذ تكون الحثية

القياسية متغيرة وذات مقاومة معلومة r_2 ولا تتأثر بتغير الحثية ونحصل من حالة التوازن في القنطرة على القيمتين L و R بصورة مباشرة وتكون قيمتا R_4 و R_3 مناسبين ويمكن تغييرها مثل 10 ، 100 ، 1000 أوم اما R_2 فيفضل استخدام صندوق مقاومات متغيرة .

$$L = \frac{R_3}{R_4} L_2$$

$$R = \frac{R_3}{R_4} (R_2 + r_2)$$



الشكل (6.14) قنطرة ماكسويل الحثية .

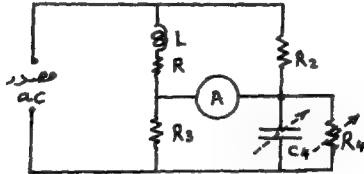
6.10.2. قنطرة ماكسويل الحثية - السعوية :

يمكن الحصول على قيمة الحثية في هذه القنطرة بمقارنتها بمسعة قياسية متغيرة تؤثر على الدائرة . يلاحظ الشكل (6.15) . وتكون قيمة الممانعة للمسعة C_4 المربوطة على التوازي بـ R_4 هي $\frac{R_4}{1+j\omega C_4 R_4}$ ومن حالة التوازن نحصل على :

$$1 + j \omega C_4 R_4 \quad R_4$$

$$(R + j\omega L) \frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4} = R_2 R_3$$

$$(R + j\omega L) R_4 = R_2 R_3 (1 + j\omega C_4 R_4) \quad \text{أو}$$



الشكل (٤.١٥) قنطرة ماكسويل الجسده المعويه

وبفصل القيم الحقيقية والخيالية عن بعضها نحصل على :

$$j\omega L R_4 = j\omega R_2 R_3 C_4 R_4 \dots (1)$$

$$L = R_2 R_3 C_4$$

$$R R_4 = R_2 R_3$$

$$R = R_2 R_3 \frac{1}{R_4} \dots (2)$$

ويجب أن تكون قيمتا R_2 و R_3 في حدود 10 الى 10000 أوم لاعطاء قيمة مناسبة لحاصل ضرب $R_2 R_3$ والتي تظهر في كلتا العلاقتين . وتكون C_4 متسعة متغيرة في حين تكون المقاومة R_4 مقاومة متغيرة .

وبلاحظ أن القنطرة هذه تغطي أغلب الميزات الموجودة في قناطر ac اي غير متمدد على التردد ، يمكن الحصول على قيمتي L و R بعلاقات سهلة جداً ويمكن توضيح فائدة هذه القنطرة اذا فرضنا ان قيمة $R_3 R_2$ هي $10^6 (100 = R_3 \text{ و } R_2 = 10000)$ مثلاً فعند الحصول على شرط التوازن تعطي قراءة C_4 بالمايكروفاراد قيمة L بالهنري مباشرة .

تعد دائرة هذه القنطرة من الطرق المفيدة والعملية الشائعة في قياس الهاتة ومن ميزاتها المهمة أن القنطرة تحتاج الى متعة قياسية متغيرة وهي من العناصر المهمة وخاصة في الانواع المستخدمة في القياسات الدقيقة . وقد يكون استخدام متعة ثابتة عند عدم توفر المتعة المتغيرة أو للحصول الى دقة أعلى في حالة استخدام المتعة الثابتة ويتم التغير باستخدام صندوق مقاومات متغيرة .

- 1 - يمكن الحصول على حالة التوازن بضبط R_2 و R_4 .
- 2 - يمكن وضع مقاومة اضافية على التوالي مع الملف والحصول على التوازن بضبط هذه المقاومة و R_4 .

6.10.3 قنطرة هاي Hay's Bridge :

يوضح الشكل (6.16) تطويراً لقنطرة ماكسويل الحثية - السعوية اذا استخدمت مجموعة المتعة المقاومة المربوطتان على التوالي (بدلاً عن مجموعة التوازي في القنطرة الرئيسية) . يمثل الملف كما هو في الشكل من أجل معاملته على التوالي أو التوازي اذ يمكن معاملة الهاتة بأحد الشكلين عند تردد معين . افرض أن الربط بشكل توازي بين المقاومة R_p والهاتة ωL_p فنحصل بذلك على :

$$\frac{R_p \omega L_p}{R_p + j \omega L_p} (R_4 - \frac{j}{C_4}) = R_2 R_3$$

أو :

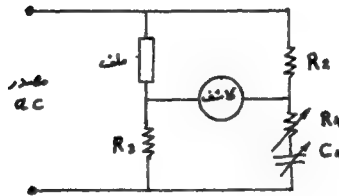
$$j \omega R_p L_p (R_4 - \frac{j}{\omega C_4}) = R_2 R_3 (R_p + j \omega L_p)$$

ونحصل من ذلك على :

$$\frac{R_p L_p}{C_4} = R_2 R_3 R_p : L_p = R_2 R_3 C_4$$

$$j\omega L_p R_4 = j\omega L_p R_2 R_3$$

$$: R_p = R_2 R_3 \frac{1}{R_4}$$



الشكل (٦.١٦) قنطرة هاي

ونحصل من هذه المعالجة على معادلات توازن سهلة ، ولكنها أكثر ملائمة للتعبير عن ثوابت الملف في الصيغة الثانية من الربط (التوالي) ولي حالة توازن القنطرة نحصل من هذا الربط على

...(3)

$$L = \frac{L_p R_p^2}{R_p^2 + (\omega L_p)^2} = \frac{R_2 R_3 C_4}{1 + \omega^2 C^2 R_4^2}$$

$$R = \frac{R_p(\omega L_p)^2}{R_p^2 + (\omega L_p)^2} = \frac{\omega^2 R_2 R_3 R_4 C_4^2 \dots (4)}{1 + \omega^2 C_4^2 R_4^2}$$

نلاحظ في الحالة الأولى المعادلتين 1 و 2 أن الحصول على L و R لا يعتمد على التردد أما الحالة الثانية فتكون القيمتان معتمدتان على التردد ولهذا فإن اختيار طريقة الربط تعتمد على درجة ثبوت التردد .

ومن مزايا قنطرة هاي الحصول على قيمة Q (عامل الجودة) للملف بطريقة سهلة وذلك من المعادلتين 1 و 2 إذ تكون $Q = \frac{R_p}{\omega L_p}$ أو من المعادلتين 3 و 4 بشكل $Q = \frac{R}{\omega L}$

$$Q = \frac{1}{\omega C_4 R_4}$$

تظهر ميزة هذه القنطرة في قياس الملفات ذات عامل جودة عال . فمن المعادلة (3)

$$L = \frac{R_2 R_3 C_4}{1 + \left(\frac{1}{Q}\right)^2} = R_2 R_3 C_4 \quad Q \gg 1$$

مثال :

قنطرة هاي ربطت كما في الشكل (6.16) ، أمكن الحصول على حالة التوازن عند $R_2 = 1000$ أوم ، $R_4 = 8120$ أوم .
 $C_4 = 980$ بيكوفاراد . وكان تردد المصدر يساوي 4 كيلوهرتز .
 أ - أحسب L و R للملف على فرض أن هاتين القيمتين مربوطتان على التوالي .

ب - اذا كان الخطأ في كل مقاومة في حدود $\neq 0.05\%$ والخطأ في المتسعة هو $\neq 1$ بيكوفاراد . وفي التردد 5 هرتز . أمسب حدود الدقة في تحديد قيمة L

الحل :

بتطبيق المعادلات المشتقة لهذه الطريقة :

$$Q = \frac{1}{\omega C_4 R_4} = \frac{10^{12}}{2 \pi \cdot 4 \times 10^3 \times 980 \times 8120} = 5$$

$$L = \frac{R_2 R_3 R_4}{1 + \left(\frac{1}{Q}\right)^2} = \frac{10^3 \times 10^3 \times 980 \times 10^{-12}}{1 + 0.04} = 942.3 \times 10^{-6} \text{ هنري}$$

$$R = \frac{\omega L}{Q} = \frac{2\pi \times 10^3 \times 942.3 \times 10^{-6}}{5} = 4.736 \text{ أوم}$$

يمكن حساب حدود السماح (درجة الدقة) بالآتي :

$$Q = \frac{10^{12}}{2\pi \times 1000 \left(1 \pm \frac{5}{4000}\right) \times 980 \left(1 \pm \frac{1}{980}\right) \times 8120 (1 \pm 0.00005)}$$

$$= 5.00 (1 \pm 0.00125)^{-1} (1 \pm 0.00102)^{-1} (1 \pm 0.00005)^{-1}$$

$$= 5.00 (1 \pm 0.00277)$$

$$\therefore \frac{1}{Q^2} = \frac{1}{25 (1 \pm 0.00277)^2} = 0.04 (1 \pm 0.00554)$$

أي يكون الخطأ $\frac{1}{Q^2}$ هو $0.00022 \pm$
 إذن تكون القيمة $(1 + \frac{1}{Q^2})$ 1.04 ± 0.00022

ومن هذا نستنتج أن الخطأ الموجب في C_4 ينتج عنه خطأ موجب في $(\frac{1}{Q^2} + 1)$
 (1)
 إذن أكبر قيمة للمعاينة L_{max} تكون :

$$L = \frac{10^{-12} (1 + 0.00102) 980 (1 + 0.0005) 10^3 (1 + 0.0005)}{1.04 (1 + 0.00021)}$$

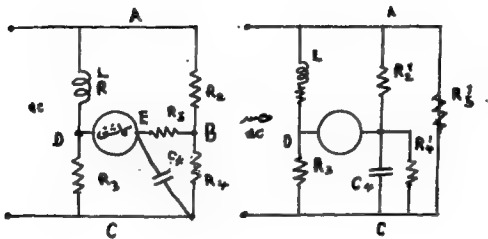
$$L_{max} = 942.3 \times 10^{-6} (1 + 0.00181) \text{ هنري}$$

وبالطريقة نفسها نحصل على أن اصغر قيمة للمعاينة L_{min} وتكون :
 $L_{min} = 0.942.3 \times 10^6 (1 - 0.00181)$ هنري
 إذن تكون حدود الدقة في قيمة L هي $\pm 0.18 \%$

6.10.4 قنطرة أندرسن :

تعد دائرة هذه القنطرة من دوائر القناطر المقعدة نسبياً . وهي مشتقة أصلاً من قنطرة ماكسويل الحثية - السعوية وهي تطوير إضافي لقنطرة ماكسويل حيث استبدلت المتسعة المتغيرة بأخرى ثابتة . ويلاحظ من دائرة القنطرة الموضحة في الشكل (6.17) أن L, R قيمة المعاوقة للملف المطلوب قياسه . والصفة المميزة لهذه القنطرة هي احتوائها على ثلاث مقاومات بشكل مثلث وهم R_2 و R_4 و R_5 .

وتربط هذه المقاومات بين A و C و E ويجب تحويل هذه الصيغة (نجم) إلى صيغة المثلث يربط بين A و C و E وهي موضحة في الشكل R_2, R_4 و R_5 . تربط المقاومة R_5 بصورة مباشرة عبر المصدر وهي لا تؤثر على حالة التوازن ، أما بقية القنطرة فهي تشبه قنطرة ماكسويل الحثية - السعوية . وتعطي حالة التوازن الآتي :



الشكل (6.17) قنطرة اندرسن

$$L = R_2 R_3 C_4 \quad \dots(1)$$

$$R = R_2 R_3 \frac{1}{R_4'} \quad \dots(2)$$

وبالتعويض عن قيمة R_2 و R_4 في المادلتين 1 و 2 أي :

$$\dot{R}_2 = R_2 + R_5 + \frac{R_2 R_5}{R_4}$$

$$\dot{R}_4 = R_4 + R_5 + \frac{R_4 R_5}{R_2}$$

اذ تكون قيمة الحث L هي :

$$L = R_2 R_3 C_4 = R_3 C_4 [R_2 + R_5 (1 + \frac{R_2}{R_4})]$$

وقيمة R هي :

$$R = \frac{\dot{R}_2 R_3}{\dot{R}_4}$$

6.10.5 Owen's Bridge

يوضح الشكل (6.18) دائرة قنطرة وين وهي في حالة التوازن :

$$L = R_2 R_3 C_4$$

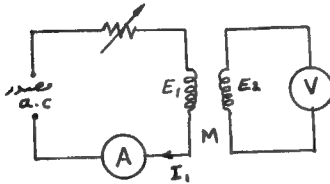
$$R = \frac{C_4}{C_2} R_3$$

فاذا تم تجهيز هذه الدائرة بمصدر ac ، يمكن الحصول على قيمتي الحث والمقاومة بطريقة مباشرة . ويمكن استخدام هذه القنطرة (كبقية القناطر) لقياس الفقد في القدرة الحاصلة في الملف تحت القياس . اذ يمكن قياس القدرة من $I^2 R$ اذ يمثل I في هذه الحالة قيمة التيار المار خلال الملف كما يمثل R قيمة

المقاومة التي يمكن قياسها بواسطة القنطرة . فضلاً من هذا يمكن استخدام هذه القنطرة في تطبيقات مهمة أخرى مثل قياس الزيادة في الحثية والفقد الناتج عن ذلك أي قيمة الحثية والفقد في الملف عند مرور تيار متناوب فضلاً عن تيار الـ dc .

ويجب ان يزود الملف في هذه الحالة من مصدرين ac و dc و يربط التوازن .

كما هو موضح في الشكل (6.18 أ) . ويلاحظ ان C' يمنع التيار المباشر مع المرور الى مصدر الـ ac . وكذلك يستخدم الملف L' لمنع وصول التيار مصدر الـ ac الى مصدر التيار المباشر . ومن شروط التوازن في اي قنطرة عدم تأثرها عند مرور تيار في بعض أجزائها وهذا ما يلاحظ في هذه القنطرة اذ تستخدم المتسختان C_2 و C_4 لمنع مرور أي تيار في الدائرة ومن الضروري في مثل هذا النقص أو القياس معرفة حالات التخميط وشروطها المطلوبة . يتم قياس حالة الاستقطاب dc وذلك باستخدام مقياس تيار نوع الملف - المتحرك المؤشر بـ A كما هو واضح في الدائرة .



6.11 قياس الحثية التبادلية :

1. طريقة الـ ق . د . ك الثانية :

يمكن كتابة العلاقة العامة بين ق . د . ك للثنائي E_2 نسبة الى تيار الابتدائي I_1 بالمعادلة الاتية :

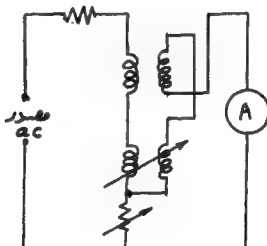
$$E_2 = \omega M I_1$$

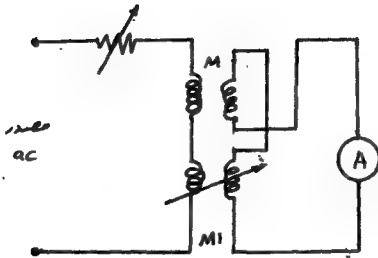
إذ يمثل M الحثية التبادلية (المقترنة) ، ويمكن الاستفادة من هذه المعادلة لقياس M . إذ يمكن قياس E_2 بواسطة مقياس فولتية ذي ممانعة ادخال عالية كما يمكن قياس I_1 بقياس تيار مناسب . ويوضح الشكل (6.18) هذه الحالة . ويجب أن يكون تردد المصدر في هذا القياس معلوماً .

2 طريقة المعاكسة المباشرة :

إذا تم ربط الملفات الابتدائية للمفنين بينهما تبادل حثي على التوالي وزودا من مصدر ac ، وربط الملفان الثانويان على التوالي بصيغة متعاكسة ، فيكون التيار في دائرة الثانوي صفراً إذا كان التبادل الحثي لكلا الملفين متساوياً . وتكون هذه الطريقة سهلة ويمكن استخدامها في تحديد تساوي التبادل الحثي للملفات . ويوضح الشكل (6.19) دائرة توضيحية في كيفية الربط . ويمثل M في الشكل قيمة الحثية المطلوب قياسها . أما $M1$ فتتمثل حثية تبادلية يمكن التحكم بها وتغييرها الى درجة الوصول الى حالة التوازن أي يشير المقياس الى قراءة الصفر .

(ج)





(ب)

الشكل (6.19) طريقته المعاكسة

وبما أن الابتدائيين مربوطان بشكل توازن فإن التيار المار خلالها يكون بالقيمة نفسها . وتكون قيمة قدك في ملفي الثانوي متساوية في القيمة (عند إعطاء الصفر في المقياس) اذن يجب أن تكون قيمة M مساوية لـ MI_1 . ولا يشترط معرفة قيم التيارات في الدائرة أثناء القياس .

تؤثر الترددات العالية وتأثيرات التيار - الدوامي على حجم التبادل بين ملفات الثانوي والابتدائي ومن المناسب في هذه الحالة فرض قدك الناتجة في الثانوي مكونة من مركبتين متعامدتين هما : ωMI_1 وهي المركبة العمودية نسبة إلى التيار I_1 . والمركبة الثانية هي I_1 وهي مركبة متحدة الطور مع I_1 . وتعرف θ بدلالة الزاوية الطورية للملف نفسه والتي تساوي $\tan^{-1} \frac{I_1}{\omega M}$.

ومن أجل الحصول على قراءة الصفر (حالة التعادل) في المقياس فيجب تطوير دائرة الشكل (6.19 أ) إلى الدائرة الموضحة في الشكل (6.19 ب) وذلك بإضافة المقاومة r وهي مقاومة متغيرة ذات نقط متحركة . ويمكن الحصول على حالة التوازن عند (I) تساوي القيمتين العموديتين ωMI_1 و $\omega MI_1 \cos \theta$ (II) تساوي المجموع الجبري قدك المتحدة الطور مع فرق الجهد الحاصل في r . فمن النقطة (I) نحصل على :

$$\sigma I_1 - \sigma_1 I_1 = I_1 r$$

$$\sigma = \sigma_1 + r$$

وبذلك يمكن معرفة M من القياسات السابقة ومعرفة σ من المعادلة المذكورة توافاً إذا كانت قيمة σ_1 معلومة .

أما في الناحية العملية فيمكن الحصول على التوازن بتغيير M_1 و r وقد نحتاج الى تغيير أقطاب أحد ملفات الثانوي (المتصلة بـ r) . ولحصول على الربط الصحيح اعتناءً على إشارة وقيمة كل من σ و σ_1 .

6.12 قياس الحثية الذاتية :

إذا تم ربط ليفتي ابتدائي وثانوي متصلين مغناطيسياً بعميق التوالي بحيث يكون المجال المغناطيس الناتج في مرور التيار فيها في اتجاه واحد ، فتكون قيمة الحثية الكلية L^+ تساوي .

$$L^+ = L_1 + L_2 + 2M$$

إذا تمثل L_1 و L_2 قيمة الحثية الذاتية لكل من الليفتين .
وعند عكس إحدى الليفتين بحيث يكون المجالان المغناطيسيان متعاكسين ، تكون الحثية الكلية L^- هي :

$$L^- = L_1 + L_2 - 2M$$

ومن هاتين المعادلتين نحصل على :

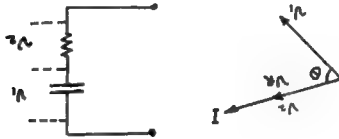
$$M = \frac{L^+ - L^-}{4}$$

ومن هذا نلاحظ أن الحصول على قيم دقيقة لـ L^+ و L^- تغطي قيمة دقيقة لـ M وقد لا تكون عملية الحصول على الدقة العالية في قياس L^+ و L^- سهلة وخاصة في الملفات ذات التبادل المغناطيسي الضعيف . إذ يكون الفرق بين L^+ و L^- صغيرة جداً ، وبذلك لا يمكن الحصول على الدقة العالية المطلوبة .

6.13 قياس المتسعة :

6.13.1 طريقة مجهد التيار المتناوب :

هذه الطريقة تشبه طريقة استخدام المجهد ac في قياس الحثية الموضحة في الشكل (6.20) الدائرة الكهربائية والمخطط الاتجاهي ، ويكون الفرق بين هذه الدائرة عن قياس الحثية هو وضع المتسعة المطلوب معرفة قيمتها محل الحثية . وتصيح الزاوية الطورية متأخرة بدلاً من كونها سابقة . (نسبة لتجه التيار) .



6.13.2 قنطرة دي ساتوى :

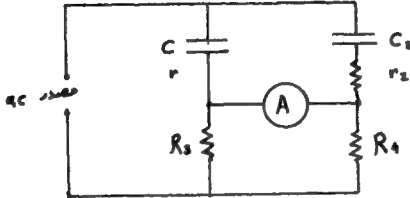
تكون هذه القنطرة لقياس المتسعة منظرية لقنطرة ماكسويل في قياس الحثية . ويمكن الحصول على معادلتين منفصلتين في حالة التوازن اذا استخدمت متسعة قياسية متغيرة مربوطة على التوالي مع مقاومة قياسية متغيرة أيضاً في الحصول على حالة التوازن . أما في الناحية العملية فيفضل استخدام متسعة ثابتة ويتم تغيير مقاومتين في تلك الحالة .

يوضح الشكل (6.21) قنطرة دي ساتوى اذ تمثل C و R قيمة المتسعة وتأثير الفقد للمتسعة المراد قياسه . كما تمثل C2 و R2 قيمة المتسعة مع تأثير الفقد لمتسعة قياسية .

وباستخدام الطريقة العامة في تحليل القناطر نحصل على :

$$C = \frac{R_4}{R_3} C_2$$

$$r = \frac{R_3}{R_4} (R_2 + r_1)$$



الشكل (6.21) قنطرة دي سالتوي لقياس المتسعة .

ويكون الافضل دائماً بمثل تأثير الفقد r بدلالة زوايا الفقد δ و δ_2 للمشتعين المجهولة والقياسية . اذن :

$$\begin{aligned} \tan \delta = \omega C r &= \omega \frac{R_4}{R_3} C_2 \frac{R_3}{R_4} (R_2 + r_2) \\ &= \omega C_2 R_2 + \omega C_2 r_2 \\ &= \omega C_2 R_2 + \tan \delta_2 \end{aligned}$$

أي :

$$\tan \delta - \tan \delta_2 = \omega C_2 R_2$$

وتكون قياسات زاوية الفقد بطريقة دي ساندي صعبة اذا كانت قيمة δ صغيرة جداً . أما اذا كانت $\delta_2 \gg \delta$ فيمكن الحصول على قياسات مناسبة ولكن تكون قيمة R_2 صغيرة لا تتجاوز الاوم الواحد . وفي مثل هذه الحالات يتم ربط مقاومة اضافية R على التوالي مع المتسعة المجهولة :

$$r = \frac{R_3}{R_4} (R_2 + r_2) - R$$

$$\tan \delta = \omega C r = \omega \frac{R_4}{R_3} C_2 \frac{R_4}{R_3} (R_2 + r_2) - \omega C R$$

$$\tan \delta - \tan \delta_2 = \omega C_2 (R_2 - \frac{R_4}{R_3} R)$$

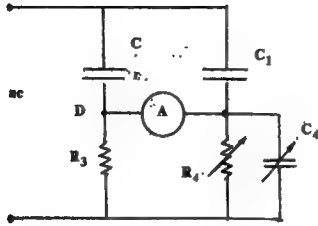
6.13.3 قنطرة شرنج :

بدلاً من استخدام مقاومة متغيرة تربط على التوالي بالمتسعة القياسية كما في قنطرة دي ساتوي ، يمكن استخدام متسعة متغيرة على التوازي مع R_4 وذلك للحصول على التنظيم الطوري للقنطرة . وتسمى هذه القنطرة وهذه المواصفات بقنطرة شرنج . وهي موضحة في الشكل (6.22) وقد عدت المتسعة القياسية فيها خالية من الفقد (Loss-free) أما في الناحية العملية فتستخدم المتسعات الهوائية أو الغازية لقلّة فقدها . ومع هذا فيتم عادة تصحيح القراءات عند وجود الفقد في المتسعة القياسية نحصل من معادلة التوازن على :

$$C = \frac{R_4}{R_3} C_2$$

$$r = \frac{C_4}{C_2} R_3$$

وبذلك يمكن الحصول على معادلات التوازن المنفصلة باستخدام R_4 و C_4 بشكل كيم متغيرة .



الشكل (6.22) قنطرة شونج

$$\tan \phi = \omega C_T$$

$$= \omega \frac{R_4}{R_3} C_2 \frac{C_4}{C_2} R_3$$

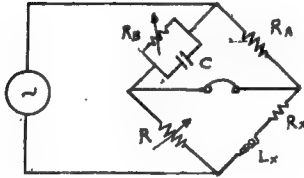
$$= \omega C_4 R_4$$

كما يمكن الحصول كذلك على قيمتي C و \tan من قيم عناصر القنطرة الأخرى في حالة التوازن .

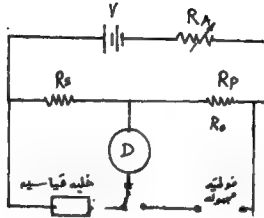
اسئلة الفصل السادس
القناطر

- ١ - يطلب قياس مقاومة بواسطة طريقة وينستون . عند التوازي كانت المقاومة $AB = 100 \Omega$ و $BC = 10 \Omega$ و $AD = 85 \Omega$. ربط مقاوم مجهول عبر CD وسط فرق جهد مقداره 1.5 فولت عبر AC وربط الكلفانوميتر عبر BD 1 سم غلط الدائرة ثم احسب :
أ - قيمة المقاوم المجهول
ب - فرق الجهد عبر AB وعبر AD .
٢ - لقنطرة ماكسويل المبينة في الشكل اثبت ان

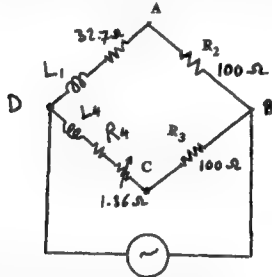
$$L_x \approx C_B R R_A , R_x = R \quad \frac{R_A}{R_B}$$



- ٣ - للقنطرة السابقة اذا كانت $R_A = 1000 \Omega$, $C_B = 0.025 \text{ Mf}$ في حالة توازي عند 1000 هيرتز فان $R = 240 \Omega$, $R_B = 1500 \Omega$, L_x , R_x .
٤ - اذا كانت الخلية القياسية في قنطرة الجهد $V_s = 1.020 \text{ V}$, $R_p = 2040 \Omega$ (أ) لقياس جهد حوالي 10V اوجد R_A , R_p , V (ب) القيمة $R_o = 1520 \Omega$ اوجد الفولتية المجهولة



٥ - قنطرة ماكسويل فيها الأذرع AB ، BC مقاومات نقية 100 أوم ، ربط في الذراع DA حثا قياسية L_1 تحوي مقاومة 32.7 أوم وربط في الذراع CD مقاومة متغيرة قياسية R على التوالي مع ملف مجهول المقاومة والحثا. ومن ثم توازنت القنطرة عندما كانت $L_1 = 47.8\text{mH}$ ، $R = 1.36$. اوجد قيمة مقاومة وحثا الملف المجهول .



٦ - لقنطرة اندرسن للتيار المتناوب ربطت بممانعة ذات قيم حثا L ومقاومة R بين A ، B وحصل التوازي عندما كانت الأذرع AD ، CD مقاومات نقية قيمتها 1000 أوم والذراع BC مقاومة مقدارها 500 أوم . والذراع DE مقاومة نقية 200 أوم 2mF غير الذراع 2mF ، المصدر تيار متناوب 10V بتردد 100 هرتز مربوط بين A ، C اوجد R ، L

٧ - قنطرة تيار متناوب في حالة متوازنة فيها AB ، BC مقاومات غير حثية قيمها 100 اوم والاذرع BE ، CD مقاومات متغيرة غير حثية والذراع EC متسعة قيمتها Mf او الذراع DA مقاومة حثية .
 ربط المصدر المتناوب بين A ، C وجهاز الساعة بين E و D . وحصل التوازي عندما كانت قيمة المقاومات للاذرع CD ، BD هي 50 اوم و 2500 اوم على التماثل .
 احسب مقاومة وعائلة الذراع DA .

مرسمة الترددات

مقدمة :

تعد مرسمة الترددات أو مرسمة أشعة المهبط Cathod-Ray Oscilloscope من الأجهزة الشائعة والمستخدمة في القياسات للفحص وإيجاد الاعطال في كثير من التصليحات وورش الصيانة . حيث تنتج المرسمة اشكالا مرئية على شاشة صغيرة للاشارات الكهربائية المختلفة وكما يمكن مشاهدة ودراسة بعض الظواهر الفيزيائية التي يمكن تحويلها الى اشارات كهربائية منها كالتحريك الصغيرة . وأساس عمل هذا الجهاز الكتروني الحيووي وجود حزمة الكترونية تتكون من سيل من الالكترونات السريعة المنبعثة من المهبط داخل انبوبة زجاجية مفرغة من الهواء . تعمل هذه الحزمة الدقيقة المقطع بمثابة مؤشر يرسم التغيرات التي تترافق الاشارة الكهربائية الداخلة الى الجهاز بصورة آلية ويعرضها على شاشة مببنة من الداخل بمادة فلورية تصطبم بها الالكترونات الحزمة فتتحول الى بريق مرئي من الخارج .

تعزى سرعة ودقة هذا الجهاز في عرض المعلومات الى السرعة الفائقة لحركة الالكترونات وصغر قصورها الذاتي ، مما يجعلها تستجيب آنيا للتغير الذي يطلب معرفته ويكون عادة بشكل فولتية تدخل الجهاز عن طريق النهايات المخصصة لذلك . فهذا الجهاز يعرض كل الاشكال الموجية مهما كان شكلها ويكشف عن أي تشويه فيها وبذلك يعد ذو أهمية كبيرة في عمليات الفحص للأجهزة الكهربائية والالكترونية .

تعد المرسمة ذات أهمية خاصة في مختلف القياسات والتطبيقات العملية في شتى المجالات الكهربائية والإلكترونية فبوساطة هذا الجهاز يمكن قياس التردد والمدة الزمنية للإشارة وكما يمكن قياس الفولتية المستمرة والمتناوبة وزاوية الطور. كما يستعمل لمقارنة الأشكال الموجية وفحص التشوهات في الموجات والحالة العابرة في الموجة فضلاً عن ذلك فإن لهذا الجهاز استخدامات عملية هامة كما هو الحال في قياس الكميات الفيزيائية باستخدام مغبرات الإشارة الذي يحول الضغط والشد والحرارة الى فولتيات يمكن رؤيتها على الشاشة .

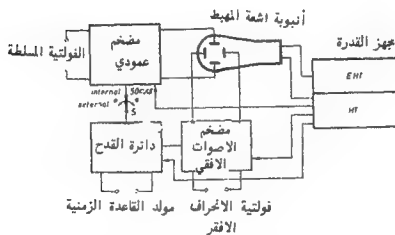
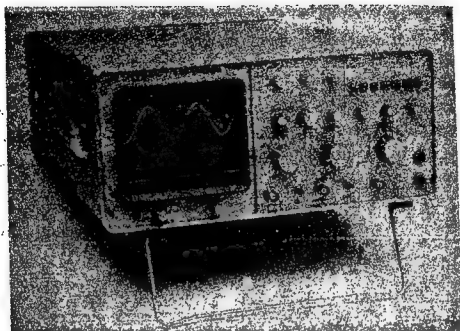
هناك أنواع متعددة من مرسمة الترددات منها البسيط والذي يحوي قناة واحدة ومنها المعقد في عمله جداً ومتطور اذ يمكنه تخزين أو إعادة عرض الأشكال أو تصويرها وهناك مراسم مخصصة لأغراض خاصة تعمل بحاسبة الكترونية وستتناول في شرحنا النوع البسيط ذي الاستخدامات المختبرية العامة والشائعة .

7-1 تركيب المرسمة :

إن المكونات الرئيسية لمرسمة الترددات مبينة في الشكل 7.1 وتعد انبوبة اشعة المهبط أو Cathod-Ray Tube (CRT) قلب المرسمة واما بقية الاجزاء فهي دوائر خدمية لتشغيل الانبوبة .

يوضح الشكل (7.1ب) المخطط الكتلي الأساسي لجهاز المرسمة والاجزاء المكونة له

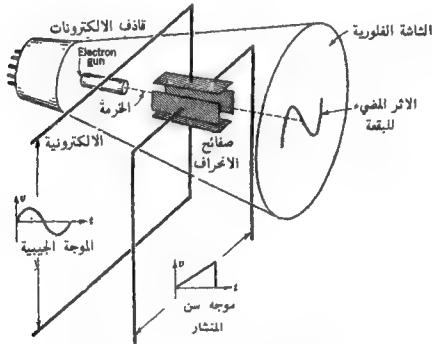
Cathod-ray tube (CRT)	(أ) أنبوبة أشعة المهبط أو
Vertical Amplifier	(ب) مضخم الانحراف العمودي
Delay line	(ج) خط التأخير
Time base generator	(د) مولد القاعدة الزمنية
Horizontal Amplifier	(هـ) مضخم الانحراف الأفقي
Trigger Circuit.	(و) دائرة القدرج
Power Supply.	(ز) مجهزة القدرة



الشكل 7.3 (أ) المظهر الخارجي للمرسمة (ب) التخطيط الكني لجهاز المرسمة

7-2 رسم الإشارة على الشاشة :

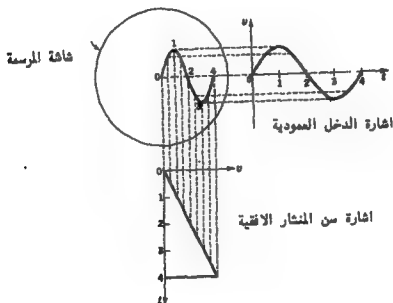
ان مولد القاعدة الزمنية (Time base generator) الاكتساحي (sweep generator) يولد موجة بشكل سن المنشار وتستخدم كفولتية انحراف افقية للـ CRT . وان الجزء الموجب لهذا الموجة خطي وينظم معدل الصعود فيها بالمنظم المثار $Time / Div$. وتغذى فولتية سن المنشار المضخم الافقي . وبحوى المضخم محول الطور phase inverter ويكون موجتين خارجيتين آتيتين هما موجة سن المنشار الموجبة (للتصميد) وموجة سن المنشار السالبة (للتنزيل) فالموجة الاولى تسلط الى صفيحة الانحراف اليميني للـ CRT والاخرى الى صفيحة الانحراف اليسرى . وهنـى الفولتيات تسبب قيام الحزمة الالكترونية بالكسح (sweep) عبر الشاشة من اليمين الى اليسار فى الزمن الذى يتم السيطرة عليها بالمنظم $Time / Div$ كما هو موضح فى الشكل (7.2).



الشكل 7.2 تخطيط مكونات أنبوبة اشعة المهبط الداخلية

ان تسليط فولتيتي الانحراف بوقت واحد الى كل من مجموعتي الصفائح يسبب حركة بقعة أنبوبة اشعة المهبط لترسم شكل الموجة على الشاشة . وهذا

موضح في الشكل (7.3) حيث تسلط الفولتية بشكل سن المنشار sawtooth أو فولتية الاكتساح على الصفائح الأفقية والموجة الجيبية مسلطة على الصفائح العمودية . وبما أن فولتية الاكتساح تزداد خطياً مع الزمن فإن البقعة المتوهجة تتحرك عبر الشاشة بسرعة ثابتة من اليسار إلى اليمين وفي نهاية المسح عندما تهبط الفولتية التي بشكل سن المنشار إلى الصفر من قيمتها العظمى فإن البقعة المضيئة تعود بسرعة إلى موقع بدايتها في الجهة اليسرى من الشاشة وتبقى هناك إلى أن تبدأ موجة سن المنشار من جديد . وحينما تسلط الفولتية دخل على الصفائح العمودية وفولتية كسح أفقية في آن واحد فإن حزمة الإلكترونات ستكون تحت تأثير قوتين : أحدها على المستوى الأفقي بحركة البقعة المضيئة عبر الشاشة بمعدل خطي والآخرى على المستوى العمودي بحركة البقعة المضيئة إلى الأعلى والأسفل حسب قيمة قطبية إشارة الدخل وإن محصلة الحركة لحزمة الإلكترونات تظهر صورة إشارة الدخل بالنسبة للزمن على انبوبة أشعة المهبط . وإذا كانت إشارة الدخل ذات طبيعة التكرار فلفرض تحقيق ذلك فإن النموذج من شكل الموجة تغذى دائرة القدح التي تنتج نبضة القدح عند مستوى معين من فولتية الدخل . وتستعمل نبضة القدح لبدء اشتغال مولد القاعدة الزمنية والتي بدورها تبدى الكسح الأفقي لبقعة الانبوبة المضيئة من جهة اليسار للشاشة .



الشكل 7.3 تخطيط يوضح الحصول على شكل الموجة الجيبية نتيجة تسلط موجة الدخل الجيبية على الصفائح العمودية وموجة سن المنشار على الصفائح الأفقية

تستعمل نقطة بداية موجة الدخل في الحالة الاعتيادية لتشغيل مولد القذح والتي تولد القذح وتبدي الكسح . وتستغرق هذه العملية مدة زمنية معينة (0.15µs مايكروثانية) اذ لا يبدأ الكسح الا بعد تسليط الاشارة الدخل . وهذا يمنع ظهور نقطة البداية لشكل الموجة ، ولذلك نحتاج الى تأخير او تمويق موجة الدخل الى الصفائح العمودية الى حين بدء دوائر القذح والقاعدة الزمنية بالاشتغال لكسح الحزمة . ويزود خط التمويق تأخيراً مقداره (0.25 مايكروثانية تقريباً) في قناة الانحراف العمودية بحيث تسمح لظهور نقطة بداية موجة الدخل على الرقم من استعمالها لقذح دوائر الاكتساح .

إن مجهز القدرة يتكون من قسم الفولتية العالية لتشغيل الانبوبة . وقسم الفولتية الواطئة لتجهيز الدوائر الالكترونية للمرسمة وإن تصمم مجهز القدرة هو من النوع الاعتيادي ولا يحتاج الى توضيح .

7.3 انبوبة اشعة المهبط (CRT) Cathode ray tube

مكونات انبوبة اشعة المهبط : -

إن التركيب الداخلي لانبوب اشعة المهبط مبينة في المنظر التوضيحي في الشكل 7.2 . اما الاجزاء الرئيسية لهذه الانبوبة المتعددة الانحراف فهي : -

- (أ) مجموعة مطلق الالكترونات .
- (ب) مجموعة صفائح الانحراف .
- (ج) الشاشة الفلورية .
- (د) غلاف زجاجي وقاعدة الانبوبة .

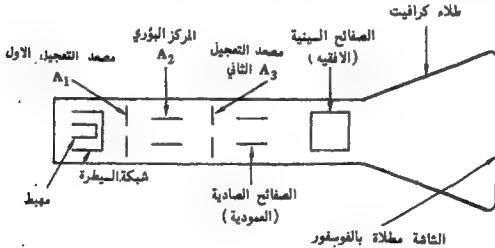
تنتج مجموعة مطلق الالكترونات حزمة بؤرية صغيرة وحادة على الشاشة الفلورية . وعند اصطدامها بالشاشة فإن الطاقة الحركية للالكترونات ذات السرعة العالية تتحول الى اشعاع مضيء وأن الحزمة تولد بقعة صغيرة مضيئة على شاشة ال CRT وخلال مرور الحزمة الالكترونية من زوجين من صفائح الانحراف الكهروستاتيكية المبينة في الشكل 7.2 وهي مجموعة صفائح الانحراف فاذا كانت الفولتيات مسلطة على هذه الصفائح فإن حزمة الالكترونات يمكن أن تنحرف بالاتجاهين العمودي والافقي بحيث تترك البقعة مضيئة أثراً على الشاشة يبين هيئة هذه الفولتيات الداخلة ..

ويوضح الشكل مطلق الالكترونات التقليدي المستخدم في انبوبة المرسة ذات الاستعمالات العامة وإن الاسم المطلق للالكترونات (electron gun) مشتق من التناظر بين حركة الالكترون المنبعث من تركيب مطلق الالكترونات في الانبوبة ومسار حركة الاطلاقة المنبثة من البندقية او المدس . وفي الحقيقة فان دراسة حركة الجسيمات المشحونة (الالكترون) في مجال مغناطيسي يدعى عادة قذف الالكترون .

7.3.1 عمل المرسة

لمعرفة عمل المرسة نلاحظ مخطط انبوبة اشعة المهبط المبين في الشكل (7.4) . إذ يتم تسليط الاشارة المراد رؤيتها على الشاشة بين صفائح الانحراف البادية (والتي تسمى في بعض الاحيان الصفائح العمودية) اذ تنحرف حركة الالكترونات نحو الفولتية الاعلى بين الصفائح .

يتم تكوين حزمة الالكترونات في الانبوبة نتيجة تسخين المهبط المطلي باوكسيد مناسب فتقذف الالكترونات من المهبط المسخن بشكل مباشر في النهاية اليسرى الموضحة في الشكل (7.4) للانبوبة الزجاجية المفرغة من الهواء . ويحاط المهبط بشبكة معدنية للسيطرة control grid تتكون من اسطوانة نيكيلية مع فتحة مركزية صغيرة يتطابق مركزها مع مركز محور الانبوبة .



شكل 7.4 تركيب انبوبة اشعة المهبط .

وتكون مجموعة الالكترونات التي تخرج من خلال الفتحة في المشبك تيار حزمة beam current ويمكن تنظيم قيمة تيار الحزمة من الواجهة الأمامية للجهاز ومن المنظم المؤشر عليه الشدة Intensity والذي يغير الفولتية السالبة (الانحياز bias) لشبكة السيطرة نسبة الى المهبط . فزيادة انحياز شبكة السيطرة تقلل تيار الحزمة وبالنتيجة تقل شدة سطوع الشكل على الشاشة ، في حين يزداد تيار الحزمة عند خفض فولتية الشبكة . وهذا مشابه لعمل شبكة السيطرة في الصمامات او الانابيب المفرغة الثلاثية .

تتمثل الالكترونات المنبعثة من المهبط والمارة خلال الفتحة الصغيرة في مقدمة شبكة السيطرة بفولتية عالية تسلط على مصمدين (A_1 , A_3) (accelerating anodes) وبين هذين المجلين يوجد مصعد التركيز البؤري A_2 (Focusing anode) الذي يجعل حزمة الالكترونات ضيقة ومركزة وذات حافات حادة .

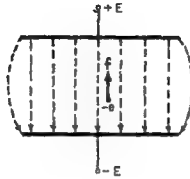
يكون شكل المصمدين المجلين ومصعد التركيز البؤري اسطوانياً مع فراغ صغير في وسط كل اسطوانة متطابقة مع محاور انبوبة المرسم اذ تسمح الفتحات في هذه المصمديات لحزمة الالكترونات المعجلة والمركزة بالمرور بين صفائح الانحراف العمودية والافقية وصولاً الى الشاشة الفلورية . وظهور بقعة مضيئة على الشاشة نتيجة اصطدامها بالكترونات الحزمة .

7.3.2 التركيب البؤري الكهروستاتيكي :

يستخدم التركيب البؤري الكهروستاتيكي في أنواع المرسبات ومن أجل أن نفهم فكرة التركيب البؤري الكهروستاتيكي ينبغي فهم كيفية تصرف الجسيمات المنفردة في المجال الكهربائي فالشكل 7.5 فرض فيه الكترون في حالة استقرار داخل مجال كهربائي منتظم .

إن تعريف شدة المجال الكهربائي تنص على أن القوة على وحدة الشحنات الموجبة في أي نقطة في مجال كهربائي في تلك النقطة . وبالتعريف يكون لدينا .

$$E = \frac{f}{q} \quad V/m \quad (7.1)$$



شكل 7.5 القوة f على الكثرن في مجال كهربائي منتظم .

حيث

$$E = \text{شدة المجال الكهربائي ووحدتها } V/m$$

$$f = \text{القوة على الشحنة ووحدتها نيوتن } N$$

$$q = \text{الشحنة بالكولوم } C$$

والالكثرون جسم شحنته سالبة وتساوي

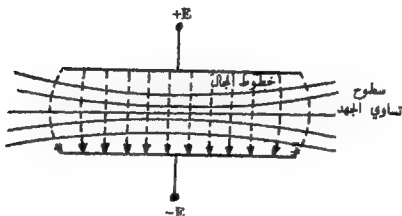
$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (7.2)$$

وإن القوة على الجسم المشحون بشحنة سالبة في مجال كهربائي يكون بعد الرجوع الى المعادلة (7.1)

$$f_e = - e E \text{ N} \quad (7.3)$$

حيث أن الإشارة السالبة تعني بأن القوة تعمل باتجاه معاكس نسبة الى اتجاه المجال الكهربائي ويكون هذا صحيحاً فقط عندما يكون المجال الكهربائي الذي تقع فيه الشحنة منتظم . وهي حالة يصعب الحصول عليها . يوضح الشكل 7.6 صفيحتان كل منهما ذات ابعاد محدودة ويظهر في الشكل كذلك المجال الكهربائي من الصفيحتين المتوازيتين . يكون اتجاه شدة المجال من الصفيحة الموجبة الى السالبة . وإن خاصية التهدب تجعل المجال الكهربائي ينتظم بخطوط منحنية في النهايات الجانبية . وإن كثافة خطوط المجال تكون اقل في نهاية الصفائح مما هو عليه الحال في المنطقة الوسطية بين الصفيحتين . وعندما توصل جميع النقاط ذات الجهد المتساوي لكل خط من خطوط المجال نحصل على السطوح المتساوية

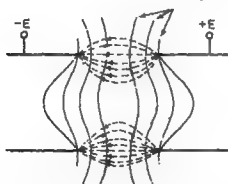
الجهد equipotential surfaces . والمبينة بخطوط مستمرة (غير مقطعة) في الشكل (7.6) وبما أن القوة المسلطة على الإلكترون تعمل باتجاه معاكس إلى اتجاه المجال فإننا نستنتج أيضاً أن اتجاه القوة على الإلكترون عمودي على السطوح المتساوية الجهد .



شكل 7-6 المجال الكهربائي و سطوح تساوي الجهد لمصنعتين متوازيتين .

وعند وضع اسطوانتين بحيث تكون النهايات متجاورة كما في الشكل 7.7 فإن المجال الكهربائي الناتج بينهما لا يكون منتظماً من حيث الكثافة وإن تنافر النهايات يجعل انتشار الخطوط كما في الشكل 7.7 وان السطوح المتساوية الجهد المبينة بخطوط غير مستمرة واختلاف كثافة المجال الكهربائي في المنطقة بين الاسطوانتين يجعل السطوح المتساوية الجهد منحنية .

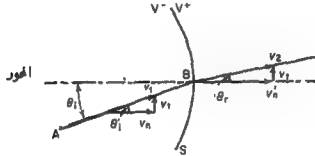
سطوح تساوي الجهد



شكل 7.7 سطوح تساوي الجهد لاسطوانتين متجاورتين النهايات .

ولأجل فهم تصور الالكترونات عبر سطوح تساوي الجهد نتصور الكترونًا منطلقًا من يسار سطح تساوي الجهد S إلى اليمين بزاوية معينة كما موضح في الشكل 7.8 فإن الجهد على يسار السطح S هو V^- وإلى يمين السطح S هو V^+ والالكترون الذي يتحرك باتجاه AB وبزاوية غير عمودية (θ_i) على سطح تساوي الجهد S بسرعة V_1 وتؤثر عليه قوة تعمل باتجاه عمودي على سطح متساوي الجهد. وبسبب هذه القوة ترتفع سرعة الالكترون إلى القيمة الجديدة V_2 بعد أن تعبر من السطح S . وتبقى مركبة السرعة باتجاه مماس سطوح تساوي الجهد V_2 على كل من جهتي S ثابتة وتزداد المركبة العمودية فقط V_n لتصبح V_n^- ويلاحظ الشكل 7.8 كذلك أن:

$$V_t = V_1 \sin \theta_i = V_2 \sin \theta_r \quad (7.4)$$



شكل 7.8 انكسار مسار اشعة الالكترون في سطح متساوي الجهد.

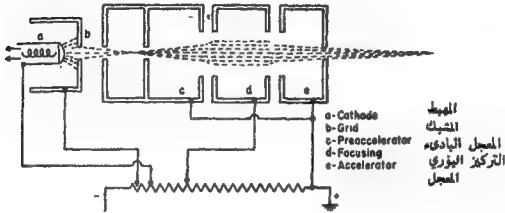
حيث θ_i هي زاوية السقوط و θ_r هي زاوية الانكسار لاشعة الالكترون. وإعادة تنظيم المعادلة (7.4) نحصل على

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{V_2}{V_1} \quad (7.5)$$

نلاحظ أن المعادلة (7.5) مشابهة للتعبير الذي يطبق على انكسار الضوء في العدسات البصرية فالانكسار أو الانحناء لاشعة الالكترون في سطح تساوي الجهد يتبع القوانين نفسها في انحناء اشعة الضوء لسطح الانكسار كما في العدسات.

ولهذا السبب تدعى منظومة التركيز البؤري الكهروستاتيكي في الانبوبة بالعدسات الالكترونية .

يوضح الشكل (7.9) عناصر المنظومة الثلاثة لمنظومة التركيز البؤري الكهروستاتيكي وقد وضعت بشكل مخطط مفصل .



الشكل (7.9) مسار حزمة الالكترون خلال خطوط المجال في الانبوبة .

إن القطب الاول لهذه العدسة الالكترونية هو مصعد التمجيل المتقدم اذ يتكون من اسطوانة معدنية مع عدد من الزوائد لتجميع اشعة الالكترون التي تدخل خلال الفتحة الصغيرة على الجهة اليسرى والقطب الثاني هو مصعد التركيز الالكتروني والقطب الثالث هو مصعد التمجيل الثاني (المتأخر) .

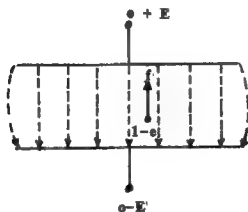
إن مصعد التمجيل المتقدم ومصعد التمجيل مربوطان مع بعضهما بجهد عال (حوالي 500 فولت) يُجهز بمصدر قدرة للفولتية العالية . وإن مصعد التركيز البؤري الواقع بين المصعدين المجللين مربوط الى جهد موجب أقل من ذلك (500 فولت تقريباً) . يكون فرق الجهد بين مصعد التركيز البؤري ومصعدي التمجيل عمالاً كهربائياً بين عناصر الاسطوانات . وبما أن مسافات خطوط المجال غير منتظمة كما مبين في الشكل 7.7 فإن سطوح تساوي الجهد تكون منحنية لتشكل منظومة عدسة محدبة الطرفين وهذا مبين في الشكل (7.9) بخطوط المجال للمنطقة بين الاقطاب .

تنبعث الالكترونات بواسطة المهبط وتكون بشكل اشعة مبعثرة نسبياً ، ولكن تنحرف الالكترونات التي تدخل المجال الكهربائي بين مصعد التجميع المتقدم ومصعد التركيز البؤري بزاوية غير عمودية على سطح تساوي الجهد ، وبذلك تكون اشعة الالكترونات موازية الى محاور الانبوبة ، كما هو واضح في الشكل . وإن الاشعة الموازية تقريباً لمحور الانبوبة تدخل العدسة المحدبة الثانية وتنكسر مرة اخرى لتصبح متقاربة قليلاً ويكون التركيز البؤري على الشاشة وسط محور الانبوبة .

يمكن زيادة طول البؤرة للعدسة المحدبة من الطرفين او خفضها بتغيير الفولتية على مصعد التركيز البؤري بحيث تتحرك نقطة بؤرة الاشعة على طول محور الانبوبة بالمقاومة المتغيرة (المهاد) الذي يقوم بعملية التنظيم لهذه الفولتية على مصعد التركيز البؤري الموجودة على واجهة المرسمة المكتوب عليها focus أي تركيز بؤري .

7.3.3 الانحراف الكهروستاتيكي : -

لفرض شرح فكرة الانحراف الكهروستاتيكية لحزمة الالكترونات في المرسمة نعود الى كمية القوة المسلطة على الالكترون داخل مجال كهربائي منتظم ، ولأجل ذلك تكرر رسم الشكل 7.6 كما في 7.10 لتوضيح الحالة .



الشكل (7.10) القوة E على الالكترون في مجال كهربائي منتظم .

من تعريف المجال الكهربائي فإن القوة على الإلكترون تصبح $f_e = -eE$ نيوتن
وإن فعل القوة على الإلكترون يعمل باتجاه القطب الموجب على طول الخطوط
لغرض المجال وإن قانون نيوتن الثاني للحركة يسمح لنا بحساب هذا التمجيل أي :

$$f = ma \quad (7.6)$$

ونحصل من تعويض المعادلة (7.3) في المعادلة (7.6) على

$$a = \frac{f}{m} = \frac{-eE}{m} \quad m \quad \text{sec}^2 \quad (7.7)$$

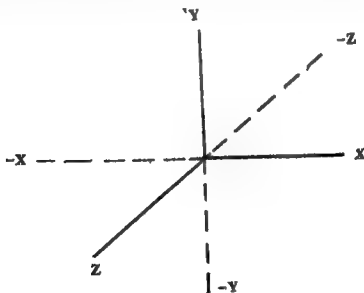
إذا إن

$a =$ تمجيل الإلكترون وحدتها m/sec^2

$f =$ القوة على الإلكترون بالنيوتن N

$m =$ كتلة الإلكترون بالكيلوغرام kg

عند دراسة حركة الإلكترون في مجال كهربائي ، إن هذه الحركة تحدد عادة
بالنسبة في المحاور الثلاثة المتعامدة x, y, z كما مبين في الشكل 7.11 ولدراسة
هذه الخاصية سوف نستعمل رموز السرعة وشدة المجال والتمجيل .

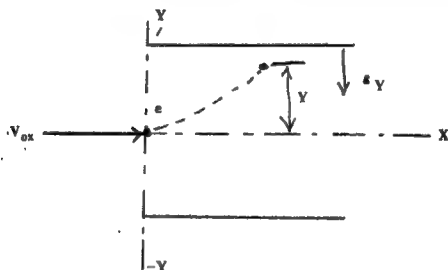


[الشكل 7-11] منظومة الاحداثيات العمودية .

فمثلاً نكتب مركبة السرعة على المحور x بالشكل V_x وتقاس (m/s) ونكتب مركبة القوة على المحور y بـ F_y وتقاس بـ N وهكذا . ولا يمكن معرفة حركة الالكترون في مجال كهربائي معين ما لم يعرف سرعته الابتدائية وازاحته .

وتعني كلمة الابتدائي قيمة السرعة او الازاحة في زمن المراقبة او $t = 0$ وستعمل الرمز 0 لبيان القيم الابتدائية هذه . فعلى سبيل المثال تكتب المركبة الابتدائية للسرعة على طول محور x تكتب بالشكل V_{0x} .

لاحظ الآن المجال الكهربائي ذا الشدة الثابتة مع خطوط القوة المؤشرة باتجاه السالب المبينة في الشكل 7.12 . فإن الالكترون الذي يدخل هذه المجال باتجاه الموجب لـ x وبسرعة ابتدائية V_{0x} سوف يواجه قوة معينة . وبما ان المجال يعمل فقط باتجاه المحور y فسوف لا تكون هناك قوة على المحورين x و z أي أن تمجيد الالكترون على هذين المحورين صفرأ وهذا الصفر يعني بأن السرعة ثابتة وبما ان الالكترون يدخل المجال باتجاه الموجب وبسرعة ابتدائية V_{0x} فانها ستستمر بالتنقل على طول المحور x بتلك السرعة .



الشكل 7-12 مسار حركة الالكترون في مجال كهربائي منتظم .

بتطبيق قانون نيوتن الثاني للحركة على القوة المسلطة على الإلكترون باتجاه
تؤول الى

$$f = m a_y$$

$$a_y = \frac{f}{m} = \frac{-e E_y}{m} = \text{ثابت} \quad (7.8)$$

توضح المعادلة (7.8) ان الإلكترون يتحرك بتعجيل ثابت باتجاه y ضمن المجال
الكهربياني ولأجل ازاحة الإلكترون بسبب قوة التعجيل هذه نستعمل التعبير
المعروف للسرعة والازاحة .

$$V = V_0 + at \quad (\text{المسرعة}) \quad (7.9)$$

$$x = x_0 + V_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (\text{الازاحة}) \quad (7.10)$$

وبسبب الظروف الابتدائية اذ تكون السرعة الابتدائية صفراً باتجاه
 $V_y = a_y t \quad (\text{m/s})$ فإن المعادلة 7.9 تصبح
وتصبح كذلك بعد التعويض في المعادلة (7-8)

$$V_y = \frac{-e E_y t}{m} \quad (\text{m/s}) \quad (7.11)$$

إن ازاحة الإلكترون باتجاه y من المعادلة (7.10) تصبح بعد تطبيق الظروف
الابتدائية (الازاحة صفراً ($V_0 = 0$) والسرعة صفراً ($V_{0y} = 0$) كالآتي :

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 \quad (\text{m})$$

وينتج بعد تعويض المعادلة (7.8) في المعادلة السابقة فيما يلي

$$y = \frac{-e E_y t^2}{2 m} \quad (\text{m}) \quad (7.12)$$

تعتمد المسافة x التي ينتقل فيها الإلكترون في الزمن t على السرعة الابتدائية ويمكننا كتابتها بعد استعمال المعادلة (7.10).

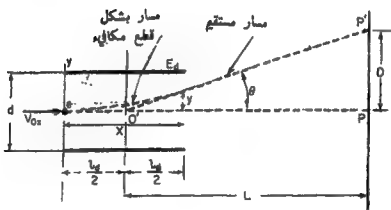
$$X = X_0 + V_{ox} t + \frac{1}{2} a_x t^2 \quad (m)$$

والتي تصبح بعد تطبيق الظروف الابتدائية باتجاه x ($x_0 = 0$) و ($a_y = 0$)

$$x = V_{ox} t \text{ أو } t = \frac{x}{V_{ox}} \quad (7.13)$$

بتعويض المعادلة (7.13) في المعادلة (7.12) نحصل على علاقة على الانحراف بدلالة المسافة للمسافة الأفقية المقطوعة من قبل الإلكترون.

$$y = \left[\frac{-e E_y}{2 V_{ox}^2 m} \right] x^2 \quad (m) \quad (7.14)$$



الشكل 7.13 انحراف حزمة اشعة المهبط

إذ توضح المعادلة 7.14 إن مسار الإلكترون المنتقل خلال مجال كهربائي ذو شدة ثابتة (يدخل المجال بزاوية قائمة على خطوط المجال) بشكل قطع مكافئ في المستوى xy يوضح الشكل السابق صفيحتان موازيتان تدعيان صفائح الانحراف على بعد d عن بعضهما البعض كما هو موضح في الشكل (7.13) وترتبطان إلى مصدر بفرق جهد E_d بحيث يتكون المجال الكهربائي E بين الصفيحتين. وإن شدة هذا المجال يعطي بالعلاقة :-

$$\epsilon = \frac{E_d}{d} \quad (V/m) \quad (7.15)$$

فالإلكترون الذي يدخل المجال بسرعة ابتدائية V_{ox} ينحرف باتجاه الصفيحة الموجبة متبعاً مساراً بشكل قطع مكافئ كما في المعادلة (7.14) الموضح في الشكل (7.13) وعندما يترك الإلكترون هذه المنطقة من صفائح الانحراف فإن قوة الانحراف لا تظهر بعد ذلك وينتقل الإلكترون بخط مستقيم باتجاه النقطة P' وهي نقطة على الشاشة الفلورية. إن انحراف مسار الإلكترون على بعد $x = ld$ حيث يترك الإلكترون تأثير المجال الكهربائي يعرف بما يأتي :-

$$\tan \theta = dy / dx \quad (7.16)$$

ويأخذ مشتقة المعادلة (7.16) بالنسبة إلى x ويتمويض $x = ld$ وعن قيمة y المطاة في (7.14) ينتج :

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{e Ey ld}{m V_{ox}^2} \quad (7.17)$$

يكون خط انتقال الإلكترون مماساً إلى القطع المكافئ عند النقطة $x = ld$ وإن هذا المماس يقطع المحور في النقطة O ويعطى موقع هذه النقطة التي تسمى نقطة الاصل الظاهر بالمعادلة (7.14) والمعادلة (7.17) وذلك لأن .

$$x - O = \frac{y}{\tan \theta} = \frac{e \epsilon d^2 / 2 m V_{ox}^2}{e Ey ld / m V_{ox}^2} = ld / 2 \quad (7.18)$$

ان نقطة الاصل الظاهرة O^* تكون في وسط صفائح الانحراف وعلى بعد L من الشاشة الفورية ويمكن اعطاء الانحراف الحاصل على الشاشة بالمعادلة

$$D = L \tan \Theta \quad (m) \quad (7.19)$$

وبالتعويض $\tan \Theta$ من المعادلة (7.17) نحصل على :

$$D = L \frac{e Ey d^2}{m V_{ox}^2} \quad (m) \quad (7.20)$$

إن الطاقة الكامنة للالكترون الذي يدخل المنطقة بين صفائح الانحراف وبسرعة ابتدائية V_{ox} هي :

$$\frac{1}{2} m V_{ox}^2 = e E a \quad (7.21)$$

اذ مثل Ea فولتية التعجيل في مطلق الالكترونات . وباعادة ترتيب المعادلة (7.21) نحصل على :

$$V_{ox}^2 = \frac{2 e \cdot E a}{m} \quad (7.22)$$

وبتعويض شدة المجال من المعادلة (7.15) وسرعة الالكترون V_{ox} في الاتجاه x_0 من المعادلة (7.22) في المعادلة (7.20) نحصل على

$$D = L \frac{e Ey d^2}{m V_{ox}^2} = \frac{L d E_d}{2 d \cdot E a} \quad (m) \quad (7.23)$$

إذا إن

$$\begin{aligned} D &= \text{الانحراف على الشاشة الفلورية (بالمتر)} \\ L &= \text{المسافة من وسط صفائح الانحراف الى الشاشة (بالمتر)} \\ d &= \text{الطول المؤثر لصفائح الانحراف (بالمتر)} \\ d &= \text{المسافة بين صفائح الانحراف (بالمتر)} \\ E_d &= \text{فولتية الانحراف (بالفولت)} \\ E_n &= \text{فولتية التمجيل (بالفولت)} \end{aligned}$$

توضح المعادلة (7.23) إن انحراف حزمة الالكترون على الشاشة تتناسب تناسباً طردياً مع فولتية الانحراف E_d وذلك عند فولتية التمجيل معطاة E_n ولايهاذ معينة للانبوبة ويوضح هذا التناسب الطردي ان الانبوبة يمكن ان تستخدم كأداة بيان الفولتية بشكل خطي . وقد فرضنا في هذه المناقشة ان E_d كانت فولتية مستمرة وثابتة . على اية حال فان فولتية الانحراف عادة كمية تتغير وان الصورة على الشاشة تتغير فولتية الانحراف بشكل خطي نسبة الى المعادلة (7.23) .

تعرف حساسية الانحراف S للانبوبة بانها الانحراف على الشاشة (بالمتر) لكل فولت من فولتية الانحراف ويمكن تمثيلها بالمعادلة الاتية : -

$$S = \frac{D}{E_d} = \frac{L d}{2 d E_n} \quad (m/V) \quad (7.24)$$

إذا إن $S =$ حساسية الانحراف (m / V)

كما يعرف عامل الانحراف (G) للانبوبة بأنه مقلوب الحساسية S ويعبر عنه بالآتي : -

$$G = \frac{1}{S} = \frac{2 d E_n}{L d} \quad (v/m) \quad (7.25)$$

فاذا كانت قيم المعادلتين (7.23) و (7.24) معروفة فيمكن الاستنتاج إلى ان حساسية الانحراف S وعامل الانحراف G لانبوبة لا يعتمدان على فولتية الانحراف ولكن تتغير حساسية الانحراف خطياً بالنسبة الى التمجيل المجهد .

فولتية التمجيل العالية تنتج حزمة الكترون يحتاج الى فولتية الانحراف عالية لازاحة معينة على الشاشة. وان الحزمة ذات التمجيل العالي تتعرض الى طاقة حركية اكثر وعليه تنتج صورة ذات بريق اكثر على شاشة الانبوبة ولكن انحراف هذه الحزمة اصعب وفي بعض الاحيان نسميها الحزمة الصعبة. إن القيم النموذجية لموامل الانحراف تتراوح من 10 v/cm الى 100 v/cm نسبة الى الحساسيات 1.0 mm/v الى 0.1 mm/v على التوالي.

7.4 أنواع الشاشات :

عندما تصطدم الاشعة الالكترونية مع شاشة الانبوبة تتكون بقعة من الضوء نتيجة هذا الاصطدام. اذ تكون الشاشة مطلية من داخلها بمادة الفسفور، الذي يمتص الطاقة الحركية للالكترونات الساقطة وتحولها الى طاقة بسرعة أقل بحيث يمكن رؤيتها وتتناثر بعض المواد الفلورية مثل الفسفور أو أكسيد الزنك بمقدورها على السطوع عند تعرضها للاشعاع الالكتروني وتسمى بالخاصية الفلورية. وهناك خاصية أخرى للمواد الفلورية وتسمى الخاصية الفسفورية وهي خاصية المادة للاستمرار اشعاع الضوء حتى بعد عزل المصدر المسبب (الحزمة الالكترونية في هذه الحالة). يقاس الزمن الذي تستغرقه الخاصية الفسفورية أو الاشعاع المتأخر عادة بزمن زوال الصورة الأصلية وان شدة الضوء المنبعث من شاشة الأنبوبة تدعى بالبريق وتعتمد على عدد من العوامل أوطا السيطرة على شدة الضوء بعدد الالكترونات المنطلقة والتي تصطدم بالشاشة خلال ثانية واحدة. والعامل الثاني للبريق فهو الطاقة التي يطلق بها الالكترونات التي تصطدم بالشاشة ويعتمد هذا على جهد التمجيل وان زيادة جهد التمجيل تؤول الى زيادة البريق.

والعامل الثالث للبريق هو المدة التي تصطدم بها الحزمة على مساحة معينة من الشاشة لذا فان سرعة الكبح تؤثر على البريق، وأخيراً يعتمد البريق على الخصائص الفيزيائية للفسفور نفسه وحسب صناعته، وهناك جداول تبين بعض خصائص المواد الفسفورية الشائعة الاستعمال ولاداعي للتطرق اليها في هذا الكتاب.

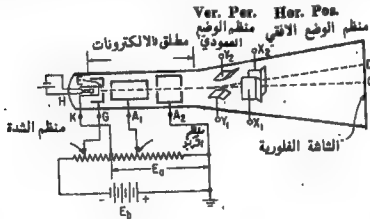
قد تتعرض الشاشة الفلورية الى اذى كبير نتيجة سوء استعمال المنظمات ووسائط السيطرة الموجودة في اللوحة الأمامية لجهاز المرسمة فعندما تصطدم حزمة الالكترونات ذات كثافة تيار عالية جداً يحصل اذى دائمى لجزء الشاشة

الذي تتعرض له هذه الحزمة نتيجة احتراق المادة الفسفورية ، وعندها ينتج ضعف في الضوء المنبعث . وهناك عاملان يؤثران على هذا الاحتراق اولها كثافة الحزمة وثانيها مدة تعرض الشاشة لهذه الحزمة ، يمكن السيطرة على الحزمة بالمنظمات وهي الشدة **Intensity** والتركيز أو التنبير **Focus** واللاستجماتية **Astigmatism** الموجودة في الواجهة الامامية للجهاز . ويمكن السيطرة على زمن تعرض الشاشة للحزمة بالمسيطر **Time/Div** أو منظم الكسح . ويمكن تجنب احتراق المادة الفسفورية في الشاشة بالمحافظة على تقليل شدة الحزمة وقلة زمن تعرض الشاشة لها .

تنتج الالكترونات المنطلقة والمصدمة على الجدار الداخلي للشاشة انبعاثات ثانوية للالكترونات لذا تحتفظ الشاشة في حالة التوازن . إن هذه الانبعاثات الثانوية ذات السرعة الواطئة للالكترونات تجمع بواسطة البطانة الموصلة الداخلية لأنبوبة زجاجية والتي تربط كهربائياً الى المصدر الثاني ويستعمل جزء من مصعد التجميع بطانة موصلة وفي بعض الأنابيب الخاصة التي تحتوي تركيزاً بؤرياً مغناطيسياً كما في أنبوبة جهاز التلفزيون .

7.5 ربط الانبوبة مع اجزاء المرسمة الاخرى : -

يتم الربط الكهربائي للعناصر المختلفة داخل الغلاف الزجاجي للانبوبة من خلال قاعدة الأنبوبة كما هو موضح في الشكل (7.14) والذي يوضح ربطاً نموذجياً للمرسمة ذات الاستخدامات العامة .



الشكل 7.14 ربط الانبوبة مع المنظمات التي تسيطر على حزمة الالكترونات من ناحية الشدة والتركيز وموضع البقعة على الشاشة

يتم تجهيز الفولتيات المختلفة لمجموعة مطلقة للالكترونات بمصدرين للقدرة مربوطين على التوالي وهما الفولتية العالية لفولتية التجميع والفولتية الواطئة للوائر الثانوية وهناك شبكة تقسيم مربوطة عبر المجهزين لتهيئة الفولتية للاشتغال الضرورية الى المنظومة . تنظم شدة الحزمة الالكترونية بتغيير الفولتية بين المهبط والشبك بمقاومة متغيرة قيمتها 500 موجودة في شبكة التقسيم وتربط الى الواجهة الأمامية ومؤشر عليها Focus فهي تنظم الفولتية السالبة على حلقة البؤرة لجزء العدسة السالبة على حلقة البؤرة لجزء العدسة . بين 500v — و 900v — . ويصبح تأثير العدسة اقوى (أقصر بعد بؤرى) كلما كانت حلقة البؤرة سالبة اكثر بالنسبة الى المصدرين الخارجيين . إن المسيطر Astigmatism الموجود ايضاً . على الواجهة الأمامية للمرسمة تنظم الفولتية على مصدر التجميع بالنسبة الى صفائح الانحراف العمودية التي تلي قسم العدسة . إن هذا يشكل عدسة اسطوانية والتي تصصح اي ابتعاد أو تغيير عن التركيز البؤري وتنظم استدارة البقعة على شاشة الأنبوبة .

يمكن ان توجه الحزمة نحو اي مكان على الشاشة باستخدام مسيطرين موجودين على الشاشة الأمامية للمرسمة مؤشرين Ver. pos. أي الوضع العمودي و Hor. pos أي الوضع الأفقي فعند وضع المسيطر Ver. pos. في الوسط تكون الصفائح العمودية مربوطة الى فولتية متشابهة ولا يوجد هناك مجال كهربائي بينها . لذا فإن الحزمة الالكترونية لا تنحرف وتنقل الى وسط الشاشة . وبتنظيم بسيط لمسيطر ال Ver. pos تسلط فولتية غير متوازنة على الصفائح ويتكون مجال كهربائي بسبب فرق الجهد الناتج بين الصفحتين ويؤثر هذا المجال على الحزمة المارة بين الصفحتين وتغير مكان البقعة الى مكان جديد على الشاشة وبصورة مشابهة فإن المسيطر Hor. pos يمكنه أن يحرك البقعة في أي اتجاه أفقي على الشاشة . ومن هذا ينتج بان تنظيم كلا المسيطرين العمودي والأفقي في وقت واحد يمكنه من وضع البقعة في أي مكان على الشاشة .

7.6 منظومة الانحراف العمودي : Vertical deflection system العناصر الاساسية :

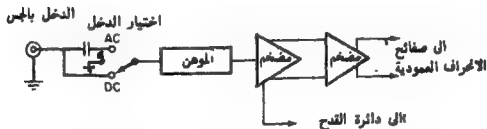
يجب أن تؤدي منظومة الانحراف العمودية ما مطلوب منها بشكل دقيق كما يجب على المنظومة أن تعيد انتاج شكل موجة فولتية الدخل بموجب ضوابط

معينة لعرض الحزمة وزمن الصعود والانساع وإن الانحراف العمودي يبيء طريقة للعزل بين مصدر الإشارة وصفائح الانبوبة وفي بعض الحالات تهيء المنظومة العمودية تشكيلات التشغيل المختلفة كازدواج الـ d.c والـ a.c وعمليات مضاعفة وادخال فرق وغيرها . تكون هذه الامور الخاصة موجودة عادة في انواع المرسات المختبرية الأكثر دقة والتي تستخدم ما يسمى وحدات الربط الى جهاز مباشرة .

تتكون منظومة الانحراف العمودي من العناصر المبينة في المخطط الكتلي المبين في الشكل وهي : -

- (أ) حوس المرسمة .
- (ب) اختيار الدخل .
- (ج) موهن الدخل .
- (د) المضخم العمودي .

يعمل حوس الـ CRO على ربط المضخم العمودي الى الدائرة المراد فحصها من دون تحميل والا فإن الدائرة سوف تتغير معالمها . هناك عدد من انواع المحسات لتطبيقات القياسات المختلفة وتنتخب نسبة الى فولتية وتردد الدخل الي المطلوب قياسها . ويوضح الشكل 7.15 مبادئ للاغراض العامة ويجوي مقاومة على التوالي (توهين الإشارة) ومتمعة متغيرة على التوازي (خمد المحس) وكلاهما موجودان في المحس نفسه مع نهاية المحس وتوصيل الارضي . يربط المحس الى نهاية الدخل العمودي خلال كيهيل عمودي . اما في حالة المرسمة المستخدمة للترددات الواطئة والرخيصة الثمن فتستخدم اسلاك الربط الاعتيادية بدون حوس آخر .



الشكل 7.15 مخطط كتلي يبين عناصر منظومة الانحراف العمودي .

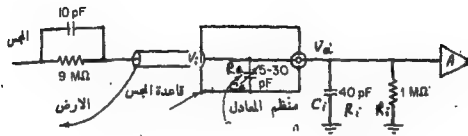
1 - منتقي الدخل :

يوضح الشكل 7.15 منتقي الدخل وهو مفتاح ذو ثلاثة مواضع AC ، DC ، Gnd (تيار متناوب - ارضي - تيار مستمر) فمند وضع المنتقي على الوضع AC فإن الإشارة تدخل عن طريق متبعة الى الموهر . فالتسمة تحجز مركبة الـ DC للموجة الداخلة وتسمح فقط المركبة الـ AC في الدخول للمضخم . وتكون هذه الخاصية مفيدة وتسمح لقياس فولتيات إشارة التيار المتناوب المتراكبة مع فولتيات الحيز الـ DC .
فلدى وضع المنتقي على DC تربط الى المضخم مباشرة وتكون هذه القياسات مفيدة لاجداد قيمة الفولتية الآتية الكلية .
اما ربط الارضي على المنتقي فإنه موجود في بعض المرسات كموضع وسط بين الـ AC والـ DC وهي حالة سالبة لازالة اي شحنة غزونة في موهر الدخل بأرض دخل الموهر كلما انتقل موضع المفتاح من حالة الـ DC الى حالة الـ AC .

2 - موهر الدخل Input attenuator

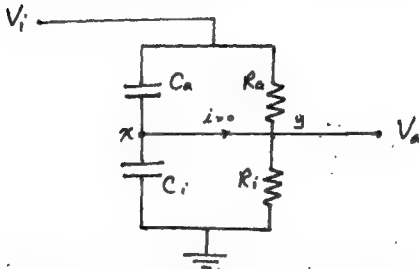
يتكون موهر الدخل من عدد من تقسيمات الفولتية RC يمكن السيطرة عليها من الواجهة الامامية للمرسمة عن طريق المفتاح المتعدد الخطوات Volt/Div . ينظم هذا المنتقي بدلالة عامل الانحراف (v/div) عادة بالترتيب 1-2-5 . ويكون المدى النموذجي لتنظيم الموهر هذا 0.1 ، 0.2 ، 0.5 ، 1 ، 2 ، 5 ، 10 ، 20 ثم 50 فولت لكل تقسيم مع أقصى توهين على الوضع 50v/div . ولأجل ضمان عمل المرسمة على مدى تردد خاص (عرض الحزمة النموذجي 25MHz) فإن توهين إشارة الدخل يجب ان لا تعتمد على التردد وهذا يتطلب ما يسمى بالموهر المعادل Compensated attenuator يوضح الشكل 7.16 نموذجاً لموهر الى جانب مرحلة الدخل للمضخم العمودي والذي تكون ممانعة دخله ممثلة بالمقاومة R_1 على التوازي مع C_1 .

يمكن وضع الموهر بحيث أن الإشارة تربط مباشرة الى مضخم الدخل من دون توهين . وفي مثالنا هذا يعود الى الوضع 0.1v/div او أقصى حساسية لمنظومة الانحراف العمودي . وعندما يكون المفتاح في حالة ربط الشبكة الموهنة الى الدائرة ، يأخذ تقسيم الفولتية حله وينتج من ذلك فولتية المخرج V_0 متناسبة مع ممانعة الدائرة الكلية ففي الموهر المعادل تكون هذه النسبة في الموهر المعادل



شكل 7.16 موهن البخل مع مجس 10 الى 1 .

من الممانعات ثابتة ولا تعتمد على تردد فولتية الإشارة وبتغيير C_{π} بحيث يصبح ثابت الزمن $R_{\pi}C_{\pi}$ مساو لثابت الزمن R_1C_1 وقد وضع ذلك في الشكل 7.17 اذ تشكل R_{π} و C_{π} و R_1 و C_1 قنطرة كهربائية .



الشكل 7.17 قنطرة دائرة التوهين في منظومة الانحراف الموهدي .

تكون القنطرة في حالة توازن عندما يكون $R_{\pi} X_{C_1} = R_1 X_{C_{\pi}}$ او عندما يكون $R_{\pi}C_{\pi} = R_1C_1$ فعند الموازنة لا يوجد تيار في الفرع xy ويمكن رفع التوصيل من الدائرة .
لذا نحصل على فولتية المخرج عند توازن القنطرة بحسم الفولتية المقاومي ويساوي .

$$V_a = \frac{V_i}{R_a + R_i} \quad (7.26)$$

7.7 قياس زاوية الطور والتردد :

يمكن بالرسمه قياس زاوية الطور بين الموجات الجيبية ونجوز ذلك بتسليط احدى الموجات على الصفائح العمودية والاخرى على الصفائح الافقية مكونة هيئة الشكل الناتجة على الشاشة اما بشكل خط مستقيم او دائرة او شكل بيضوي ويعتمد ذلك على زاوية الطور كما هو موضح في الشكل (7.18) حيث يلاحظ الشكل الناتج على الشاشة عندما تكون زاوية الطور بين الموجتين المسلطتين على الصفائح الافقية والصفائح العمودية صفر و 45 درجة و 90 درجة . هذا وإن طريقة حساب زاوية الطور تكون كالآتي : -
نفرض مثلاً ان موجة الفولتية المسلطة على الصفائح الافقية هي : -

$$V_H = V_p \sin \omega t$$

وإن موجة الفولتية المسلطة على الصفائح العمودية هي : -

$$V_v = b \sin (\omega t + \phi)$$

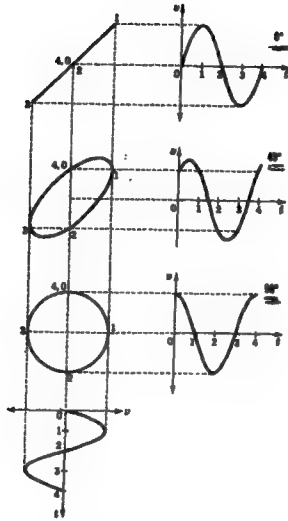
فعندما يكون $t = 0$ فإن $V_H = 0$ ويعني ذلك ان الانحراف الافقي صفر وان الانحراف العمودي يمكن اعطائه بالقيمة a عند هذه النقطة وكالآتي :

$$V_v = b \sin \phi = a$$

وعند إيجاد قيمة ϕ فإنها فهي :

$$\phi = \arcsin \frac{a}{b}$$

كما يمكن إيجاد النسبة مباشرة من قياس ابعاد الشكل الناتج على الشاشة كما هو مبين في الشكل (7.19) مع ملاحظة ان شكل الموجة يجب ان يكون في موضع وسط بالنسبة الى خطوط المحاور الافقية والعمودية على الشاشة لكي تكون المعادلة اعلاه صحيحة ويمكن استخدامها لفرض حساب الزاوية بصورة جيدة إن الاشكال المبينة في الشكل (7.18) هي امثلة للاشكال الليجية والتي

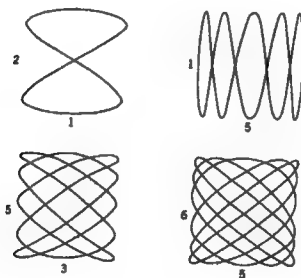


الشكل 7.18 الاشكال اليسجية لفرق زوايا الطور بين فولتيات الدخل الممودة والافقية 90° ، 45° ، 0° .



الشكل 7.19 تحسب زاوية الطور بين الفولتيات المسطرة على الصفائح الممودة والافقية للمرسمة من معرفة نسبة a الى b .

تستخدم هي الاخرى لايجاد النسبة بين ترددات الموجتين المسلطتين على المرسمة . حيث تسلط احدى الموجات الجيبية على صفائح الانحراف العمودي والاخرى على صفائح الانحراف الافقية . واذا كانت النسبة بين الترددين لماتين الموجتين عدداً غير صحيح مثل $1/2$ ، $1/4$ ، $2/3$... الخ . فإن الشكل على الشاشة سوف يكون مستقراً وثابتاً ولا يتحرك . وإن نسبة الترددات تسحب من عدد رؤوس الحلقات الموجودة على الشاشة الملامسة للخط العمودي لحافة الشكل بالمقارنة مع عدد رؤوس الحلقات الموجودة على الشاشة الملامسة للخط الافقي لحافة الشكل الجيبية على الشاشة . وإن سبب ذلك يعود الى ان عدد كامل من الموجات الجيبية المسلطة على الصفائح الافقية تكبل في الوقت نفة اكمال الموجات الجيبية المسلطة على الصفائح العمودية . ويوضح الشكل (7.20) بعض الأمثلة النموذجية لترددات مختلفة وقد اشتقت هذه الاشكال بالطريقة نفسها التي استخدمت في تحليل الشكلين السابقين (7.18) و (7.19) والاشكال المرسومة على الشاشة في الشكل (7.19) هي نسبة التردد المسلطة على صفائح الافقية والعمودية نفسها والاختلاف الوحيد يكون في وقت تردد الموجتين عند نقطة الاصل اي الاختلاف في زاوية الطور لذا فإن الشكل هو لنسبة الترددات $1:1$. هذا ولو ان اساس استخدام الاشكال الليسجية هو لايجاد نسبة الترددات لكل من الموجات الجيبية وغير الجيبية الا ان الموجات غير الجيبية لا تكون الصورة فيها واضحة بشكلها الصحيح .



الشكل 7.20 الاشكال الليسجية لنسب الترددات $1:1$ ، $2:1$ ، $3:1$ ، $5:3$ ، $6:5$ كما مؤشر .

7.8 مسائل

- 1 - هل يمكن استخدام مرسمة الترددات لاشعة المهبط لقياس التيار وضع الاجابة بشرح بسيط .
- 2 - ارسم المخطط الكتلي لاجزاء المرسمة الرئيسة واكتب على المخطط اسماء الاجزاء المهمة .
- 3 - هل تمت المرسمة من الاجهزة الالكترونية للقياس ، لماذا ؟
- 4 - وضع بمخطط بسيط توصيلات ربط انبوبة اشعة المهبط بدوائر السيطرة المختلفة .
- 5 - اذكر خمسة امور هامة تطبقها عند استخدام المرسمة لأجل العناية بالجهاز والحفاظة عليه من المطب .
- 6 - اشرح فكرة التركيز البؤري في المرسمة .
- 7 - اشرح مستقيماً بالمعادلات علاقة الانحراف على الشاشة والفولتية المسلطة .
- 8 - مالفرض من خط التعويق في المرسمة .
- 9 - وضع بالرزم شكل الموجة الناتجة على الشاشة مرسمة اذا كان تردد موجة سن النشار السلطة على الصفائح الافقية نصف تردد الموجة الجيبية السلطة على الصفائح العمودية .
- 10 - وضح بالرزم الشكل الذي يظهر على شاشة المرسمة اذا سلطت موجتان جيبيتان على الصفائح العمودية والصفائح الافقية وكانت زاوية الطور بينهما 30 درجة تحقق من النتيجة باستخدام الحساب النظري لزاوية الطور .
- 11 - ارسم مخطط منظومة الانحراف العمودي للمرسمة موضحاً الاجزاء المهمة على الرسم .
- 12 - اذا كان زمن الكسح الافقي في مرسمة الترددات 0.2 ملي ثانية . ارسم اشكال الموجات الاتية حسب ظهورها على الشاشة
 - 1 - موجة متناوبة جيبية ترددها الزاوي $\omega = 10,000 \text{ rad/sec}$
 - 2 - موجة متناوبة مربعة زمنها 0.1 ملي ثانية .
 - 3 - موجة مثلثية موجبة تتكرر 10,000 مرة في الثانية .
- 13 - ارسم مخططاً يوضح الحصول على نصف موجة على شاشة المرسمة .
- 14 - هل يستخدم التركيز البؤري الكهروستاتيكي في المرسمة لفرض تصغير الموجة يجمع اشعتها الضوئية ؟ اذا كان الجواب النفي اشرح عملية التركيز البؤري الصحيحة .

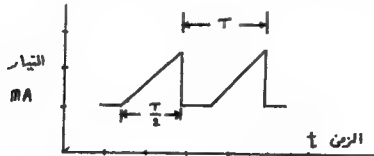
15 - هل يمكن اشتقاق مكان سقوط البقعة المضيئة على شاشة المرسة بواسطة قوانين نيوتن . اذكر السبب وما علاقة ذلك بكتلة الالكترتون او شحنتها .

16 - بعد الزمن الذي يستغرقه الالكترتون للمرور بين صفائح الانحراف من احد العوامل التي تحدد التردد الذي يعمل به جهاز المرسة . مفترضاً بأن الزمن هذا يقارب زمن 0.2 من الذبذبة الواحدة للتردد . احسب اعلى تردد يمكن استخدامه اذا كان طول الصفائح 1cm والطاقة الحركية للالكترتون 2000eV عند دخوله الصفائح . احسب حساسية الانحراف S للمرسة اعلاه اذا كانت L (المسافة بين الشاشة ومنصف صفائح الانحراف) تساوي 30cm والمسافة d بين صفائح الانحراف تساوي 7cm

17 - مرسة فيها فولتية التسجيل بين الصفائح التجميع والمهبط 2 كيلوفولت احسب سرعة حزمة الالكترونات . اذا كان طول صفائح الانحراف العمودي 1.5cm والمسافة بينها 0.5cm ويعد وسطها عن الشاشة 50cm .

أ - جد حساسية الانحراف بوحدات الفولتية المسلطة على صفائح الانحراف على المحرف الحزمة على الشاشة باللمترات .
ب - التردد الممكن قياسه بهذه المرسة اذا اعتبرنا زمن مرور الحزمة لا يزيد عن 0.1 من زمن ذلك التردد .

18 - قمنا بقياس التيار الذي ظهر على الشاشة المرسة كما مبين في الشكل بواسطة ثلاثة مقاييس تيار مختلفة ربطت على التوالي الاول من نوع دى ارسنفال والثاني من نوع الحديد المتحركة والثالث من النوع المزود بقنطرة مقوم .
جد قراءة كل مقياس ثم جد نسبة الخطأ في القياس اذا كانت المقاييس خاصة بقياس القيم الجيبية .



19 - مرسمة مختبرية وضع منظم سعة الموجة على $1V/cm$ ومنظم القاعدة الزمنية على $0.02ms/cm$ الشاشة مربعة عرض الكسح $10cm$. معتبراً كسحاً مثالية . ارم اشكال الموجات الناتجة المسلطة على نهايات الدخل العمودية .

$$V = 5 \cos (10^4 \pi t)$$

ب - موجة مثلثية ذات زمن ذبذبة $0.1ms$ واتساع $3V$
 ج - نبضة تكرر 2000 مرة في ثانية وتظهر عند 50% من الفترة واتساع $10V$

20 - ارم المخطط الكتلي للمرسمة موضعاً شكل الموجة العمودية والافقية الداخلة والموجة الناتجة على الشاشة . على أن تكون الموجة المسلطة على الصفائح العمودية جيبيية الشكل .

ب) مرسمة فيها عامل الانحراف $5V/mm$ deflection factor والمسافة من الشاشة الى وسط الصفائح العمودية $L = 20cm$ المسافة بين الصفائح العمودية $d = 5mm$ طول الصفائح العمودية يجب ان لايزيد عن 0.1 من زمن الموجة المسلطة على نهايات الجهاز .

احسب اقصى تردد يمكن استخدامه في هذه المرسمة مع العلم ان شحنة الالكترون $C = 1.6 \times 10^{-19}$ كتلة الالكترون $kg = 9.1 \times 10^{-31}$.

أَجْزَاءُ الْقِيَاسِ الْإِلِكْتْرُونِيَّةِ

مقدمة :

إن التطور السريع خلال السنوات الأخيرة الماضية للدوائر المتكاملة ذات المقياس الكبير وتطبيقاتها في الدوائر التناظرية أو الرقمية بصورة خاصة أدت إلى تطورات كبيرة في أجهزة المقياس الإلكترونية من ناحية التصميم وفي أنظمة المقياس فضلاً عن سرعة إنتاجها وانتشارها بصورة واسعة وتغلغلها في كثير من المجالات المهمة وخاصة في أجهزة السيطرة الحديثة .

تتوفر الأجهزة الحديثة بشكل أجهزة متعددة الغايات ومنها ما تستخدم المعالجات الدقيقة للسيطرة على عمليات المقياس المتسلسلة فضلاً إلى الاستفادة من الذاكرة الداخلية لهذه المعالجات التي تنفذ في عمليات المقارنة والبرمجة وتخزين المعطيات وتكون هذه الأجهزة ذات الأغراض المتعددة وهذه الميزات الكبيرة رخيصة التكاليف من ناحية إنتاجها وفي عملية الصيانة إذاً نجيبنا بعض الحالات التي تحتاج إلى خبرات عالية في تشغيلها أو إلى جمع بعض المعطيات الخاصة .

تصمم الأجهزة الإلكترونية في الوقت الحاضر لتتلاءم في عملها مع الأنظمة القياسية مثل (IEC bus أو IEEE 488 bus) لتكون أنظمة مقياس ذاتية بعد جمعها مع بعض سهولة مثل تطبيقات السيطرة الرقمية ذات التغذية العكسية ، ويتضمن مثل هذا النظام أجهزة التحسس (أدق قد يبلغ عددها 30 أو أكثر) ويسيطر على هذه العمليات في استقبال المعطيات اللازمة وتخزينها حاسبة رقمية خاصة . ويمكنها بعد ذلك تنفيذ بعض العمليات الحسابية أو الإحصائية

واعطاء النتائج المطلوبة . وتستخدم اجهزة تحويل (D/A) تناظري الى رقمي ذات السرعة العالية لتحويل القيم التناظرية الى مايقابلها من سلسلة نبضات رقمية . ويتم بعد ذلك التعامل مع الانظمة الرقمية داخل الحاسبة بسهولة وبكفاءة اعلى ، وتجري عملية اخراج النتائج بشكل رقمي او تحول الى قيمة تناظرية بشكل منعني في جهاز الرسم مثلاً وذلك باستخدام اجهزة او دوائر التحويل الرقمي الى تناظري (A/D) . وكما هو معلوم فإن النواتج المثلثة بشكل تناظري تكون أكثر ملائمة للعين البشرية والقليلة الكلفة نسبياً .

دخلت الاجهزة الالكترونية في الوقت الحاضر في كثير من المعامل والمصانع ذات الانتاج الواسع كما استخدمت هذه الاجهزة في فحص الناتج والتأكد من جودتها ، وتحتاج هذه العملية الى اجهزة قياس معقدة بعض الشيء في تكوينها واستخدامها ، اذ يكون فيها عدد من العوامل التي تتطلب ملايين العمليات الحساسة لتكوين دورة فحص كاملة . كما يجب عدم اهلاك عامل الزمن والكلفة في هذه الحالة . وتتطلب أنظمة القياس التناظرية او الرقمية في اغلب الاحيان برامج تسيطر على سير عملية القياس فضلاً عن المقارنات اللازمة مع قيم او ارشادات توضع مسبقاً داخل الذاكرة . وقد اصبحت اجهزة القياس الذاتية أكثر انتشاراً في الوقت الحاضر في خطوط الانتاج لاغلب المعامل والتي تستخدم هذه الاجهزة في عمليات التصنيع وعمليات السيطرة النوعية كذلك ، وتفخر كثير من المعامل التي تختص في اتجاهها نحو السيطرة الالكترونية في دقة ورخص المواد المنتجة .

وسنحاول في هذا الفصل ذكر بعض أنظمة القياس المهمة والتي تدخل فيها اجهزة القياس الالكترونية وقد ادت الزيادة في هذه الاجهزة وتعددتها بصورة سريعة الى تصنيفها الى الصنفين الآتيين :

- أ - الاجهزة التناظرية : وهي الاجهزة التي تزود في نتائجها دوالاً مستمرة ويتغير تدريجياً عند الخرج في حالة وجود تغيير في كمية الدخل . ومن امثلة الاخراج المؤشر في بعض اجهزة القياس ، او الراسم الالكتروني .
- ب - الاجهزة الرقمية : وهي الاجهزة التي تظهر نتائجها بشكل ارقام اعتيادية او بنظام رقمي آخر (ثنائي - ثنائي) وتمطي قيماً بشكل دوال غير متصلة عند تغير كمية الدخل وتكون الدقة في اجهزة القياس الرقمية اعلى منها في الاجهزة التناظرية .

إن وظيفة المقاييس أو اجهزة القياس بصورة عامة هي الحصول على معلومات تشير الى مقدار أو كمية الشيء المقاس . ويجب في عملية ربط المقاييس تجنب التأثير الناتج من جراء الربط على مقدار الكمية المقاسة أو الظاهرة التي نحاول تمييزها أو قياسها .

وإذا استثنينا المقاييس الالكترونية للفولتية (ذات مناعة ادخال عالية جداً) نلاحظ ان معظم هذه الاجهزة تستهلك قدرة معينة ولو قليلة جداً وبمحدود 1 مايكرووات . يمكن تمثيل مناعة الادخال لهذه الاجهزة بوضع (أو فرض) متسمة تتراوح بين 2 الى 50 بيكوفاراد ومقاومة تساوي عدداً من الميكا أوم .

8.1 المقاييس الالكترونية للفولتية التناظرية :

تمتاز الاجهزة الالكترونية المستخدمة في قياس الفولتية بخاصية وجود مناعة ادخال عالية مع قابلية على تكبير اشارات الدخل ذات الترددات العالية والتي تصل الى 1GHz أو أكثر . على الرغم من تحديد معظم الاجهزة بترددات بين 5 الى 10 ميكا هرتز وذلك بوجود متسمة الادخال التي تحدد من تطبيقات الترددات العالية .

يمكن استخدام المقياس الالكتروني في قياس مدى واسع لفولتية الادخال ، ويجب ان تحدد اتساع اشارة الادخال بقم تعتمد على تصميم الجهاز نفسه وذلك باستخدام موهنات (attenuators) ذات المناعة العالية للفولتيات العالية . في حين تستخدم المضخمات الالكترونية ذات الكسب العالي ومناعة ادخال عالية كذلك لتضخيم فولتيات الادخال الواطئة ، ويجب ان تكون مناعة الاخراج للمضخم الاخير في الحالتين واطئة ، بحيث يعمل المضخم كمصدر تيار لتحويل ac الى dc عند الحاجة لقياس فولتية ac باستخدام اجهزة قياس dc واعطاء الناتج ، يمكن تقسيم تدريج القياس عند الاخراج من اجل الحصول على قراءة جمت (rms) أو قراءة لوغاريتمية (logarithmic) أو قم معدل أو الذروة لفولتية الادخال المقاسة .

وتجب الملاحظة ان دقة القياس تعتمد بصورة اساسية على الخواص الداخلية لمغير ac الى dc . فضلاً عن المعلومات عن هيئة أو شكل الموجة . وقد يكون المقياس في بعض الاجهزة الالكترونية بصورة لوغاريتمية معطياً مجالاً واسعاً لقراءة مقدار الفولتية بـ dB على مقياس مفرد دون الحاجة الى تغيير مفاتيح

الجهاز مثل ذلك 100 فولت 316 مايكرو فولت يمكن قراءة هذه الفولتيات وهذا المجال الواسع بشكل dB والذي يساوي $(100 \div 316) \log_{10} 20$

$$= 110 \text{ dB}$$

8.1.1 خصائص مغير الفولتية ac الى dc

يمكن استخدام المغيرات لاعطاء فولتية خرج تمثل القيمة الحقيقية جـ م ت او فولتية الذروة او معدل الفولتية . وتدرج الاجهزة الالكترونية الخاصة لقياس هذه الكميات نسبة الى فولتية جـ م ت . ويكون هذا مناسباً لقراءة جـ م ت الحقيقية ، اما معدل الفولتية أو فولتية الذروة فتكون قراءات المقياس صحيحة في حالة كون موجه الادخال بشكل جيبي فقط .

8.1.2 مقاييس الفولتية جـ م ت (rms) :

إن قيمة (جـ م ت) للموجه هي كمية مهمة في قياسات فولتية ac وهي الفولتية (ac) المكافئة لفولتية dc في توليد كمية الحرارة نفسها في مقاومة معينة . ففي حالة الـ dc تكون كمية الحرارة متناسبة مع قيمة القدرة المبذولة في الحمل المقاومي .

اي تكون القدرة في الحمل المقاومي في حالة الـ dc هي :

$$P = \frac{V_{dc}^2}{R}$$

اذ تمثل P قيمة القدرة بالواط
و R قيمة المقاومة بالاوم
V_{dc} الفولتية عبر المقاومة

اما في حالة فولتية الـ ac فتكون قيمة الحرارة متناسبة مع مربع الفولتية الفاعلة rms عبر الحمل المقاومي .

$$P_{av} = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

ويمكن إيجاد معدل القدرة في الموجة الجيبية من تكامل مربع الموجة الكاملة مقسوماً على R أي :

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_i^2}{R} dt$$

$$= \frac{1}{T} \frac{\int_0^T V_i^2 dt}{R}$$

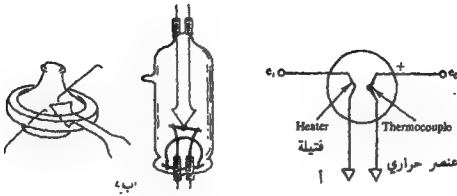
$$V_{rms} = \frac{1}{T} \int_0^T V_i^2 dt$$

وإس هذا نستنتج ان جهاز قياس (جـمـت) يجب أن يتمكن من إيجاد مربع الموجة ومن ثم إيجاد معدل الموجة بعد التربيع . أي يجب أن يكون للجهاز أو لأحد عناصره استجابة لمربع الموجة .

لاحظنا أن قيمة (جـمـت) لموجة ac تقدر بقيمة الحرارة الناتجة في حمل مقاومي . ولذلك تكون الطريقة المباشرة لقياس قيمة جـمـت هي بالتحس عن قيمة الحرارة المولدة ومقارنة ذلك بكمية الحرارة الناتجة عن فولتية dc معلومة . ويدعى مثل هذا الجهاز بعنصر الاقتران الحراري والذي يستخدم غالباً في تنفيذ هذه العملية .

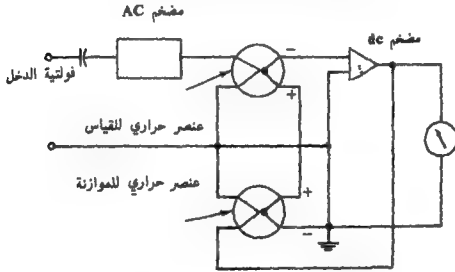
عند اتصال معدنين مختلفين ببعضهما ، تتكون فولتية dc في نقطة الاتصال اعتاداً على درجة حرارة هذه النقطة (المنطقة) . ويدعى هذا الاتصال بالاقتران الحراري . وتوضع هاتان المادتان المتصلتان عادة في غلاف مفرغ من الهواء أو مملوء بفناء معين كما في الانواع القديمة أو من مواد شبه الموصلة المستخدمة في الاجهزة الحديثة . يوضح (8.1) الشكل الهيئات المختلفة لعنصر الاقتران الحراري مع الرسم التخطيطي .

وتجب الملاحظة هنا بأن اي جهاز يستجيب لمربع فولتية الدخل يمكن استخدامه بدلاً من عنصر الاقتران الحراري في قياس قيمة جـمـت .



شكل (8.1) (أ) رمز المقترن الحراري (ب) شكل المقتن

يوضح الشكل (8.2) مخططاً لأجزاء مقياس الفولتية المستخدم لقياس جـمـت وقد ربط فيه عنصران متشابهان للاقتران الحراري .



شكل (8.2) مقياس فولتية لقراءة جـمـت

يمكن استئصال التأثيرات غير الخطية الناتجة في عنصر الاقتران الحراري باستخدام عنصر القتران حراري آخر ذي خواص غير خطية مشابهة للاول .
تسلط اشارة الادخال على الفتيلة المقاومة لعنصر الاقتران الحراري في حين تسلط تيار التغذية العكسية على الفتيلة عنصر الاقتران الحراري المستخدم للاتزان .

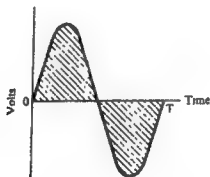
ويمكن اعتبار هذه الدائرة نظام سيطرة عكسية توافق بين قدرة الفتيحة الناتجة من الفولتية العكسية مع قدرة موجة الدخل . يتناسب المحرف المقياس لفولتية التغذية العكسية dc ، والذي يتناسب بدوره مع قيمة (ج.م.ت) لاشارة الدخل . ويكون تأشير المقياس بذلك خطياً .

8.1.3 المقاييس الالكترونية لمعدل الفولتية :

تعرف قيمة المعدل لموجة ac بأنها معدل الفولتية الآنية خلال موجة كاملة ، او يمكن تعريفها رياضياً بأنها :

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T V_i dt$$

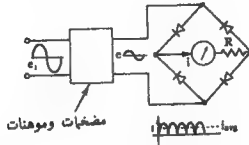
أو انها المساحة تحت المنحنى مقسوماً على المدة الزمنية المحددة على المحور الزمني كما يوضح ذلك الشكل (8.3) والذي يمثل موجة جيبية .



شكل 8.3 موجة جيبية

وقد تكون قيمة المعدل في كثير من الاوقات غير مرغوب بها وخاصة في فولتية الادخال اذ مايعمنا في كثير من التطبيقات هو (ج.م.ت) لموجة الفولتية . ويكون معدل الفولتية في الموجة الجيبية الكاملة مثلاً صفرًا وذلك لتساوي الجزئين الموجب والسالب ولكن يكون لها تأثيراً في توليد حرارة او طاقة اخرى . ولها التأثير نفسه عندما تكون الانصاف كافة موجبة .

يوضح الشكل (8.4) مقياس فولتية يستجيب في قراءة لمعدل الفولتية . وقد استخدم المضخم في الادخال لغرض التوفيق بين الممانعات وكما يتم شرحه لاحقاً . من المهم جداً ان تكون ممانعة الدخل عالية جداً عند الحاجة الى دقة عالية في القياس كما يستخدم الموهن لتصحيح مستوى الخرج عند تغير تدرج مقياس الفولتية ويكون الخرج من المضخمات او الموهنات (e) متناسباً مع موجة الادخال .



شكل (8.4) مقياس فولتية يستجيب لمعدل الموجة

تم عملية التقديم باستخدام القنطرة والتي ينتج عنها تيار i خذ المقياس كما موضح في الشكل (8.4) . وتكون استجابة المقياس بطيئة جداً مقارنة مع مدى موجة الدخل . اذن تم عملية ايجاد المعدل في القياس نفسه وتستخدم المقاومة R لاعطاء المحراف كامل لمؤشر المقياس .

هناك عدد كبير من الاضافات والتطويرات الى مقياس الفولتية المتحسس بمعدل الفولتية اذ يمكن الحصول على معدل الفولتية بربط متعة مع المقياس كما هو موضح في الشكل ويمكن استخدام الفولتية عبر هذه المتعة كاشارة ادخال الى مقياس الفولتية .

اما الموجات غير الجيبية فيمكن ايجاد قيمة المعدل بوساطة المعادلة :

$$V_{av} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \left(V_1 + \frac{V_3}{3} + \dots + \frac{V_n}{n} \right)$$

اذا تمثل V_1 — « V_n قيم (ج م ت) لمركبات التوافقية الاساسية ...» التوافقية رقم n للموجة . اما قيمة ج م ت فيمكن ايجادها بصورة تقريبية على

فرض امال التوافقيات ولا يمكن معرفة القيمة الحقيقية الا بتوفر معلومات عن عامل الشكل الخاص بالموجة .

8.1.4 مقياس ذروة الفولتية :

تختلف قيمة الذروة في الموجات الجيبية عن القيمة المؤثرة (ج م ت) ويكون عامل الاختلاف في الموجات النقية 0.707. وبما ان قياس القيمة المؤثرة هو اكثر شيوعاً فلذلك يتم قياس فولتية الذروة ثم ضرب هذه القيمة (ج م ت) في القيمة الثابتة 0.707 .

يوضح الشكل (8.5) غلطاً توضيحياً بسيطاً لقياس فولتية يستجيب للذروة الموجة . وقد يكون كاشفاً بسيطاً جداً بشكل ثنائي ومتسعة فقط . ويمكن اضافة القيمة الثابتة باستخدام مقاومة او اي منصر فاعل او تنظم حركة المقياس بصورة مباشرة . اما عند الحاجة الى دقة اعلى فتصبح الدائرة اكثر تعقيداً .



شكل (8.5) غلط توضيحي لقياس ذروة الفولتية
مقياس ذروة الفولتية

يوضح الشكل (8.5) مقياس فولتية الذروة وهو مقياس بسيط جداً ، اذ تشحن المتسعة فيه الى ذروة فولتية الادخال من خلال الثنائي ، ويكون طريق التفريغ عن طريق المقاومة العالية للمضخم فقط بحيث يمر تيار صغير جداً يمكن اماله في الناحية النظرية . وبذلك تبقى شحنة المتسعة عالية تساوي ذروة فولتية ال ac . يستخدم مضخم ال dc في مقياس ذروة الفولتية للحصول على تيار مناسب للمقياس .

8.2 اختيار الجهاز :

يتم اختيار جهاز القياس المطلوب حسب مواصفات معينة. تعتمد على طبيعة القياس والغاية منه ، ومن هذه المواصفات هي :

١ - الحساسية :

تستجيب مقاييس الفولتية الالكترونية كافة مدى واسع للفولتية من ناحيتي الاتساع والتردد . ويكون التشوش NOISE من أهم العوامل التي تحد من حساسية الاجهزة اذ يكون للمضخم ذي الحزمة الواسعة ضجيجاً اكبر من المضخم ذي الحزمة الضيقة .

ويتأثر الاول بالضجيج الخارجي اكثر من الثاني . اذن عند قياس فولتية صفرة (3 مايكروفولت) مثلاً تحتاج الى حزمة ترددية ضيقة (من 5 هرتز الى 500 كيلوهرتز مثلاً) للحصول على نسبة الإشارة التشويش بقيمة معقولة .

2 - التشويش : distortion

ان درجة التشويش المتوقعة في موجة الفولتية ربما تحدد اختيار نوع مغير ac الى dc وخاصة اذا كان التشويش متعلقاً بنوعية النتائج المطلوبة . وتكون الاجهزة المتحسنة بالذروة ذات جودة في النتائج وضمن مدى ترددي واسع وخاصة عند استخدام موجات جيبيهة نقية عند الادخال . اما في الموجات ذات التشويش العالي فتكون اجهزة التحسس بمعدل الفولتية افضل ، ويكون ذلك على حساب عرض الحزمة . اما بالنسبة لاجهزة قياس (ج م ت) الصحيحة فيجب ان تكون النتائج دقيقة ولاي نوع من الموجات وخاصة عند استخدامها في حسابات القدرة وبصورة عامة تكون اجهزة (ج م ت) هذه اكثر كلفة من بقية الانواع .

3 - المدى :

يمكن الحصول على اجهزة قياس الفولتية التي تستخدم الترانزستورات او الدوائر المتكاملة لقياسات الفولتية بين 3 مايكروفولت و 1.5 كيلوفولت وبمدى ترددي يقع بين الصفر 1 كيكاهرتز (1GHz) ونسبة خطأ يتراوح بين

± إلى 10 بالمائة ومن الصعب توفر هذه الشروط كافة في جهاز واحد . ويتم قياس التيار المتناوب باستخدام عصى (clip-on probe) والذي يتراوح بين 100 ملي أمبير بتردد 10 ميكاهرتز أو 25 أمبير (القيمة العليا) في الترددات الراديوية تزود مقاييس فولتية dc الالكترونية بعدد من المديات ولها نسب مئوية للخطأ مشابهة لتلك في أجهزة ال ac وتستخدم عادة كأجهزة متعددة الأغراض فهي تغطي قراءات للتيار من 10 ميكو أمبير إلى 10 أمبير ونسبة خطأ 2-3% وتغطي كذلك قراءات لقيم المقاومات بين عدد من الأومات إلى 100 ميكا أوم ونسبة خطأ تتراوح بين 2-5% .

8.3 الاجهزة التفاضلية :

تعتمد فكرة مقاييس الفولتية الالكترونية التفاضلية على فكرة تشابه عمل الجهد في القياس ، والذي يتم فيه موازنة فولتية غير معروفة مع فولتية أخرى معروفة (المراجع) . والتي تحصل عليها من نسب مقاومات او من ثنائيات زينر او من خلايا ويستون ذات الفولتية الثابتة . وتحتاج هذه الاجهزة (التفاضلية) على الأقل الى مغريات الكترونية للمناعة 10 كيكا أوم لعزل المدى ذات المناعة الواطئة ودوائر القياس للمجهاد عن الفولتية غير المعروفة ولكافة القيم .

وتكون اجهزة قياس الفولتية هذه ذات دقة عالية ، اذ يمكن استخدامها لقياس فولتيات الى حد 1 كيلوفولت ونسبة خطأ لا تتجاوز 20 جزءاً من مليون ، وعلى الرغم من دقتها واستقراريتها العاليتين الا ان ادائها الجيد ينخفض بسرعة خلال بضعة اشهر من صنعها .

مقاييس الفولتية الالكترونية :

يعد مقياس ارسنفاك من اسهل انواع المقاييس المستخدمة عملياً وهو لا يحتاج الى اي مصدر قدرة لفرض تحريك المؤشر ولما يأخذ هذه القدرة من الدائرة التي يطلب قياس فولتيتها . وتعتمد دقة القياس في هذا النوع على حساسية حركة المؤشر للتيار المار به فقد تبلغ حساسية المقاييس الاعتيادية ± 3 بالمائة من التدرج الكامل اما في المقاييس الدقيقة والغالية الثمن فقد لا تتجاوز ± 1 من التدرج الكلي .

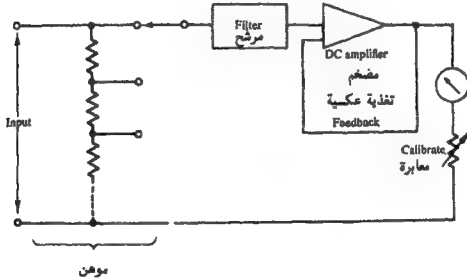
8.4 تغذية مقياس الفولتية من مضخم :

يمكن الحصول على تطور ملحوظ في الاداء عند تغذية المقياس بواسطة مضخم . اذ يوفر المضخم في هذه الطريقة حساسية اكبر فضلاً عن ارتفاع مقاومة الادخال نسبة الى الحالة الاعتيادية للمقياس من دون مضخم . وتكون مقاومة الادخال في المضخم الالكتروني عادة عالية اذ لا تحتاج الى تصحيح القراءات او ضربها بعامل معين نتيجة التحميل الناتج من ربط المقياس الى الشبكة . ويمكن تقدير الحساسية النموذجية بين 0.5 الى 5 بالمائة تقريباً .

يستخدم نوعان من مقاييس الفولتية في الناحية العملية .

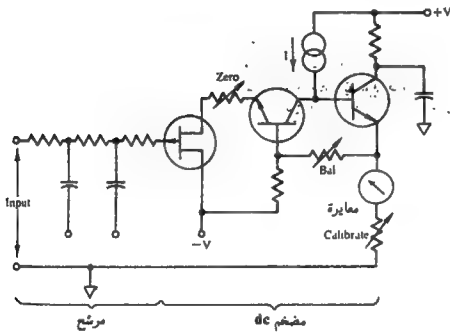
- (1) نوع الربط المباشر
- (2) نوع القاطع الالكتروني

ويمكن ايجاد النوع الاول عادة ضمن اجهزة القياس الالكترونية الرخيصة نسبياً . يوضح الشكل (8.6) مخططاً توضيحياً لمقياس الفولتية نوع الربط المباشر .



شكل (8.6) مخطط لمقياس فولتية برابط مباشر

وكما هو الحال في المقاييس المتعددة الأغراض ، يوضع في دائرة الادخال موهن لغرض تغيير حساسية المقياس عند تغيير التدرج . فمثلاً اذا كانت حساسيته الاعتيادية هي 100 ملي فولت من دون موهن ، فعند قياس 1000 فولت يجب وضع موهن الادخال للحصول على توهين 1:10,000 . يستخدم مرشح dc لاستئصال أي إشارة ac والتي قد تختلط في إشارة الادخال . اما مضخم dc الموضح في الشكل (8.7) فهو لتضخيم إشارة الادخال (dc) للسيطرة وسوق المقياس . وتستخدم التغذية العكسية في المضخم من اجل زيادة استقرارية خواص المضخم نفسه .



شكل (8.7) دائرة مقياس الفولتية نوع الربط المباشر

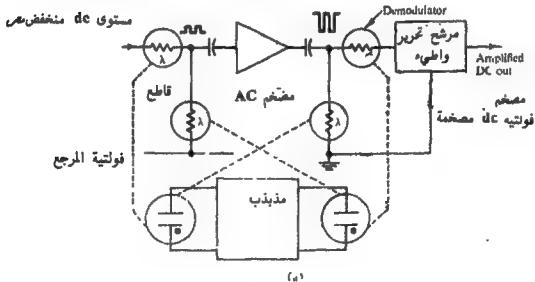
وعلى الرغم من ان مضخم الربط المباشر ذو مقاومة ادخال عالية ، ولكن يكون التدرج السفلي عادة في حدود 0.1 الى 1 فولت فقط وهو يتحدد باستقرارية مضخم ال dc . واستقرارية ال dc هي مقياس لقدرة المضخم في الحفاظ على قراءة ثابتة عند ثبوت إشارة الادخال . وقد يتسبب الانحراف (Drift) عادة من تغيير في موضع نقطة التشغيل (العمل) لترانزستور تأثير المجال وذلك عند اختلاف درجة الحرارة .

ويكون هذا الانحراف في نقطة التشغيل بتأثير تغيير بسيط في فولتية الادخال لا تتجاوز بضع ملي فولتات .

اما مقياس الفولتية الالكتروني المعتمد في عمله على المضخم القاطع (Chopper Amp) فله تدرجات لمدى أوسع اذ تقدر القيم الصغرى بالملي فولت او المايكرو فولت على الرغم من كلفته العالية نسبياً اذا قورن مع النوع السابق .

وفكرة عمله سهلة جداً ، إذ يحول التيار الداخل (dc) الى مايعادله من تيار (ac) ثم يضخم بمضخم (ac) وبعد ذلك يحول مرة ثانية الى (dc) . وتفيد هذه العملية في التخلص من تأثير الانحراف اذ لا يمر تيار dc خلال المضخم الى دائرة الاخراج .

يوضح الشكل (8.8) غلطاً توضيحياً للمضخم القاطع . إذ أستخدم في هذه الدائرة مضخم قاطع خاص يتضمن قاطعاً معتمداً على خلية ضوئية ودائرة نقض التضمين . وتكون مقاومة الخلية الضوئية ذات قيمة عالية (بضع ميكا أوم) في حالة عدم وجود الاضاءة وتنخفض الى قيمة صغيرة (عشرات أو مئات الاوم) عند تسليط الاشعة الضوئية عليها . وتكون المدة الزمنية اللازمة لهذا التغير العامل المهم الذي يحدد من سرعة القاطع ، وتثبت أربع خلايا ضوئية عادة في مجموعة واحدة مع مذبذب (neon oscillator) . وتزود هذه الفكرة عملية نقض التضمين de modulation فضلاً إلى مضمن modulator نصف موجي .



شكل (8.8) غلطاً توضيحي لمقياس فولتية يستخدم مضخماً قاطعاً

منها قابلية على اخراج النتائج الى مسجلات ثابتة لحفظ القياسات أو طبع ذلك على أوراق ، أو شريط مغناطيسي أو غيرها .

توفر أنواع كثيرة من المقاييس الرقمية للفلوتية فضلاً عن قابليتها في قياس فولتية dc فهي تقيس فولتية ac وقيم التيار والمقاومة وهناك انواع متعددة للمقاييس الرقمية للفلوتية تختلف في اسلوب معالجتها واختلاف الدوائر الرقمية التي تتضمنها ومن هذه الانواع هي :

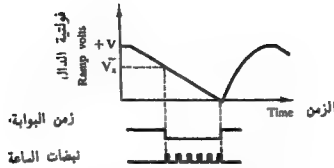
- 1 - الانحدار الخطي : linear Ramp
- 2 - التوازن بالشحن : charge balancing
- 3 - تكامل الفولتية الى التردد :
- 4 - الانحدار التدريجي :
- 5 - التقريب المتراكم :
- 6 - خليط من الانواع السابقة :

1 - الانحدار الخطي :

وهي علاقة الفولتية بالزمن الذي يستخدم فيه القاعدة - الزمنية الخطية Linear time- base في تحديد الزمن اللازم في توليد الفولتية داخلياً .

ويتناسب الزمن مباشرة مع الفولتية غير المعروفة عند الادخال اي يمكن تحويل الفولتية الى مايقابلها من زمن وبالعكس ويوضح الشكل (8.10) المخطط الزمني لعملية التحويل ويتم مقارنة فولتية الادخال مع الدالة المرتفعة (Ramp) بصورة مستمرة ، وفي اللحظة التي تساوي فيها الدالة مع الفولتية الداخلة يقوم المقارن باصدار نبضة مشيراً الى حصول هذه المساواة وفتح بوابة معينة . وتستمر الدالة الى ان يقوم مقارن ثان بالتعسس بوجود دالة مرتفعة اخرى قد وصلت الى الصفر إذ يتم بذلك توليد نبضة اخرى لغلق البوابة .

تناسب المدة الزمنية بين فتح وغلق البوابة مع الفولتية غير المعروفة . ولتقدير هذه المدة الزمنية تأخذ نبضات زمنية قصيرة معلومة ونحسب عدد حصول هذه النبضات خلال المدة الزمنية . فعند فتح البوابة ، تتدخل نبضات متولدة من مذبذب خلال البوابة الى المعداد . ويكون العدد الكلي للنبضات المحسوبة خلال المدة الزمنية قياساً للفولتية الداخلة .



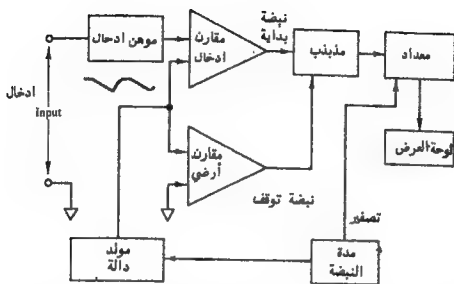
عملية تحويل الفولتية - الى - الزمن .

الشكل (8.10)

ويضبط تدرج المقياس بالاختيار المناسب لسرعة الدالة المرتفعة وكذلك لتردد المذبذب ويكون عادة بالملي فولت .. فمثلاً عند اختيار دالة مرتفعة بـ $(\frac{100V}{s})$ وبتردد (100 KHz) للمذبذب ، فإذا كانت الفولتية الداخلة 1000 ملي فولت فتأخذ (0.01) ثانية من زمن التقاطع الاول (عند تساوي الدالة المرتفعة مع فولتية الادخال) الى زمن التقاطع الثاني مع الصفر . ففي خلال هذه المدة (0.01 ثانية) يدخل الى العداد (1000) نبضة ويتم عدّها . لذلك سيظهر الرقم في لوحة العرض المتصلة بالعداد وقيّمته 1000 ملي فولت .

يوضح الشكل (8.11) المخطط العام للاجزاء الرئيسية المكونة لنظام المقياس الرقمي للفولتية نوع الحدار الفولتية الى الزمن . وقد سلّطت الفولتية المراد قياسها الى مدخل المقارن ، فعند تساوي الدالة الداخلية مع هذه الفولتية يقوم المقارن بتوليد نبضة البداية التي تسمح بمرور نبضات المذبذب الى العداد ، وتولد نبضة الايقاف بالمقارن الارضي ground comparator عندما تصل الدالة الى الصفر فولت . فعند هذه اللحظة يتوقف مرور النبضات . وتنتقل محتويات العداد الى لوحة الاظهار المرئية لنتمكن من قراءة مقدار القراءة (الفولتية) . وعند نهاية المدة الزمنية يصفر العداد ويتم توليد دالة خطية اخرى وتبدأ دورة القياس مرة ثانية .

تتمدد دقة هذا النوع من الانظمة على درجة خطية الدالة وكذلك على حساسية المقارن وربما تصل دقة هذه الانظمة بمقدود 0.01 بالمائة من التدرج الكامل ، وتكون سرعة القياس عالية لاتتجاوز اجزاء الثانية .



الشكل (8.11) مخطط عام لجهاز مقياس الفولتية نوع التحويل الفولتي - الزمني .

اما مساويء هذه الطريقة فهي تأثيرها بالتشويش اذ قد يؤدي ذلك الى تشغيل البوابة في وقت غير صحيح مما ينتج عنها قراءة خاطئة .

2 - التوازن بالشحنة :

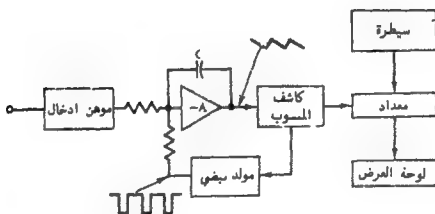
تستند هذه الطريقة بصورة اساسية على استخدام زوج من الترانزستورات تربط بصورة تفاضلية تستخدم لشحن متسعة بتيار يتناسب مع فولتية الـ dc غير المعلومة ثم تقوم المتسعة بتفريغ شحنتها بكميات صغيرة ومتعددة $S_q + S_q -$ ويتم حساب عدد وحدات التفريغ بواسطة معداد سريع وخزن العدد الكلي لـ $S_q +$ والعدد الكلي لـ $S_q -$ ويكون الصفر في المنتصف عادة وتتناسب النتيجة مع الفرق بين عدد كل من $S_q +$ و $S_q -$ تكون هذه الطريقة ذات اتجاهين اي يمكن قراءة الفولتية دون الاهتمام بقطبيتها ، كما وتتميز بتحسين الخطية ، وسرعة القياس ، وذات حساسية عالية فضلاً عن عدم تأثرها بالتشويش الذي الذي قد يرافق عملية القياس .

تتوفر دائرة المقياس الرقمي للفولتية من هذا النوع في الوقت الحاضر بشكل شريحة سليكونية مفردة (Ferranti ZN 450 مثلاً) . ولها تطبيقات متعددة

فضلاً عن استعمالها في قياس الكميات الكهربائية سواء كانت ac أم dc ، اذ يمكن ربطها مباشرة بغيرات الطاقة او الاشارة (مثل نوع الاقتران الحراري وسلكي الشد strain gages وقياس الحرارة المقاومي) .

3 - التحويل من فولتية الى تردد :

ويطلق على النوع الثالث من المقاييس الرقمية للفولتية هذه بنوع التكامل او النوع المعتمد في عمله على تحويل الفولتية الداخلة الى مايقابلها من تردد . يكون عمل هذا النوع كما هو موضح في الشكل (8.12) . تسبب الفولتية الموجبة عند الادخال دالة تتجه الى الاسفل (السالب) عند خروج المقارن . وعند وصول الدالة الى مستوى فولتية محددة يتم قدح الكاشف detector الذي يقوم بدوره بقدح مولد النبضات . اذ يولد هذا نبضات مستطيلة وباتساع وعرض معينين تكفيان لسحب شحنة كافية من المتسعة C وذلك لجعل دائرة ادخال المكامل تعود الى وضعها عند نقطة البداية وبذلك تبدأ دورة جديدة .



الشكل (8.12) لقياس فولتية نوع المكامل

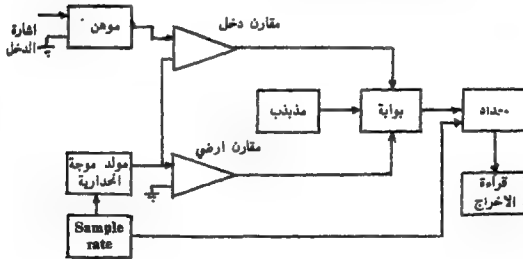
يتناسب ميل الدالة مع فولتية الدخل ، اذ ينتج عند الفولتية العالية دالة بميل أكبر ، مما يجعل المدة الزمنية أقصر للدالة . ويتبع ذلك أن تكون سرعة اعادة النبضات او التردد اعلى . وما دام تردد النبضات متناسباً مع فولتية الدخل ، فيمكن حساب النبضات لمدة زمنية معينة للحصول على قياس رقمي للدخل .

تكون دقة المقياس ذي النوع التكاملي والمغير الرقمي - الى - التناظري معتمدة بصورة اساسية على استقرارية الكاشفة الاتساعي والمضخم والمكثف. ويمكن للمقاييس التي تعتمد في عملها على التقنية التكاملية اعادة قراءة الدخل خمسين مرة في الثانية وبدقة تحويل عالية تتجاوز 0.01 بالمائة للتدرج الكامل. ومن الفوائد الرئيسة للمقياس التكاملي للفولتية قابليتها على تكامل الدخل خلال المدة الزمنية المحددة وتمثل قراءة الخرج قيمة معدل فولتية الدخل.

4 - نوع الانحدار التدريجي : Stair Case-ramp type

تولد انظمة المغير نوع الانحدار التدريجي فولتية تدريجية مضبوطة وتعتمد تدرجاتها على رقم آخر مرتبة في القياس.

يوضح الشكل (8.13) الفكرة الاساسية لهذه الطريقة ، فبعد بداية القياس تقوم نبضة البداية في فتح بوابة وتسمح بذلك دخول نبضات الى معدّات ويتم عدّها ، ويربط الى خرج العداد مغير رقمي الى تناظري ، ويعتمد مستوى فولتية خروجه على الدخل الرقمي . فكلما تدخل نبضة الى العداد ، يضاف واحد الى الرقم الاقل مرتبة ، وتبعاً لذلك يزداد خرج المغير الرقمي الى التناظري بمقدار تدرج واحد (خطوة) في الدالة المتدرجة .



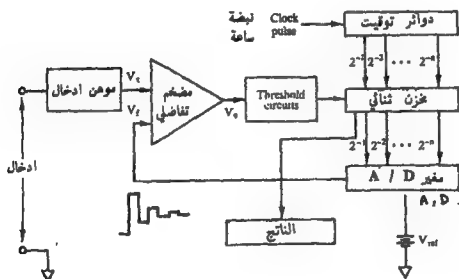
الشكل (8.13) مخطط عام لمقياس فولتية نوع - الانحدار التدريجي .

تقارن فولتية الدخل عادة مع دالة الحدار متولدة في داخل الجهاز، وعند الوصول الى نقطة تقاطع بين الفولتيتين، يتوقف العداد وتنتقل محتوياته الى جهاز خرج مرئي اذ تتناسب محتويات العداد مع فولتية الدخل.

ان اداء مقياس الفولتية نوع - دالة الاحدار التدريجي يكون شبيهاً الى حد كبير بمقياس الفولتية نوع (الفولتية - الى الزمن) وتعتمد دقة الجهاز على دقة عملية التحويل لمغير الرقمي الى التناظري واستقرارية فولتية المرجع الداخلية.

5 - التقريب المتراكم : Successive-approximation

يحوي مقياس الفولتية الالكتروني هج - التقريب المتراكم على مغير رقمي - الى - تناظري ذي تقنية مكية وبشكل توازي، ويعتمد عمله على اجراء مقارنات متراكمة ويحدد n بين فولتية الدخل V_x والفولتية المكية V_f من خرج المغير الرقمي - الى - التناظري. ويثل الرقم n عدد الارقام في العدد الثنائي الذي يحفظ بالقيمة غير الملمومة بوضح الشكل (8.14) غططاً مبسطاً لمقياس الفولتية الرقمي نوع التقريب المتراكم.



الشكل (8.14) غطط عام لمقياس فولتية نوع 1- التقريب المتراكم

وفيا يلي مثال وهو خير وسيلة لشرح عمل النظام .
افرض أن قياس فولتية له مرجع اساس للفولتية $V_{ref} = 10$ فولت . وإن فولتية الدخل $V_x = 3.4$ فولت والتي سيتم تحويلها الى رقم بنظام عشري وبخطأ ± 0.2 فولت . ومن الضروري في هذه الحالة استخدام مغير ذي 6- أرقام ثنائية لجعل عملية التحويل محدود معينة . وسيحتفظ الرقم الثنائي السادس بفولتية التغذية العكسية V_f ويتدرج 2^{-6} او $\frac{1}{64}$ من فولتية المرجع V_{ref} او 0.156 فولت تقريباً وتجري العملية كما يلي :

- 1 - خلال المدة الزمنية الاولى ، يضبط الرقم الثنائي الاعلى مرتبة 2^{-1} بمقدار منطقي يساوي واحد ONE اي يكون $V_f = V_{ref} \times 0.5 = 5$ فولت . ثم يضخم الفرق $(V_x - V_f)$ وتكون فولتية الخطأ V_e سالبة . ثم يُجمل الرقم الثنائي الاكبر مرتبة بمقدار ZERO منطقي .
 - 2 - تجمل المرتبة الاعلى مرتبة التالية (2^{-2}) بمنطق الواحد مما يؤدي الى جعل $V_f = V_{ref} \times (-\frac{1}{4} + 0) = 2.5$ فولت وذلك خلال المدة الزمنية الثانية . تكون V_e موجبة ، اذن يبقى الرقم الثاني (2^{-2}) بالمنطق واحد .
 - 3 - يضبط الرقم الثاني (2^{-3}) الى الواحد المنطقي وتكون V_f بذلك $V_f = V_{ref} (\frac{1}{8} + \frac{1}{4} + 0) = 3.75$ فولت V_e تكون سالبة اذن يضبط الرقم الثاني (2^{-3}) بالمنطق الصفري .
 - 4 - يضبط الرقم (2^{-4}) بالمنطق الواحد . اذن $V_f = V_{ref} (\frac{1}{16} + 0 + \frac{1}{4} + 0) = 3.125$ فولت . V_e موجبة اذن 2^{-4} تبقى بالمنطق واحد
 - 5 - يضبط الرقم (2^{-5}) بالمنطق واحد $V_f = 3.4371$ فولت V_e سالبة اذن 2^{-5} يغير الى المنطق صفر .
 - 6 - -
- يضبط الرقم (2^{-6}) بالمنطق واحد و $V_f = 3.281$ فولت . V_e موجبة اذن يبقى الرقم الثاني (2^{-6}) بالمنطق واحد .

اذ نحصل على الناتج في وحدة الحزن الثنائية ومقداره 010101 او 3.281 بما يعادله بالنظام العشري . وتعتمد دقة هذه الطريقة على استقرارية فولتية المرجع ودقة المغير الرقمي - الى التناظري . وكلما ازداد عدد الارقام الثنائية كلما توصلنا الى دقة أعلى أي يمكن الحصول بواسطة مقياس الفولتية ذي مغيرات 12- رقم ثنائي وباستعمال طريقة

التقريب المتراكم على دقة ± 0.05 بالمائة من التدرج الكامل ، وبسرعة تصل الى عدد من الالف القراءات في الثانية الواحدة .

8.6 مواصفات مقاييس الفولتية (الرقمية والتناظرية)

توضع المواصفات العامة للاجهزة لفرض تحديد النوعية وحجم وميزات وقابلية الجهاز المطلوب . ويلاحظ ان مواصفات الجهاز تتغير من حيث سهولة أو تعقيد الجهاز وكلفته فمثلاً ربما يحتوي مقياس فولتية تناظري رخيص الكلفة مواصفات للدقة في حدود ± 1 بالمائة من التدرج الكلي وفي أي تدرج كان ، وذلك في درجات حرارة تتراوح بين 10 الى 40 درجة مئوية . وفي جانب آخر ربما يعطي جهاز ذو اداء جيد ومعقد التركيب وغالي الثمن مثل مقياس الفولتية التفاضلي ، دقة عالية تصل الى اقل من ± 0.005 بالمائة وفي درجة حرارة ± 23 درجة مئوية ، فضلاً عن الدقة يجب الانتباه الى الاستقرار وعامل الحرارة .

وفي هذه الفقرة نحاول تعريف بعض من المواصفات العامة وما يتعلق بها بالنسبة بمقياس الفولتية الالكتروني .

يوضح الجدول (8.1) قائمة بمدد من الميزات التي يتصف بها كل نوع من اجهزة قياس الفولتية المذكورة في هذا الفصل ويجب ذكر هذه المواصفات من قبل الشركة الصانعة للجهاز .

أ - المدى :

نعني بمواصفات المدى ، مدى اعلى فولتية يمكن قياسها في تدرج معين والتي تكون ضمن تحمل المقياس . فمثلاً يكون هناك مواصفات لمدى مقياس فولتية وعددها 8 مديات تغطي 100 ملي فولت الى 1000 فولت وهناك اجهزة لها قابلية معينة في قراءة الفولتيات التي تتجاوز الحد الاعلى للمدى أو المجال بنسبة مئوية معينة من المقياس الكامل المختار مثل قراءة 1.1 فولت في مدى 1 فولت .

ب - الحساسية :

تعرف الحساسية بأنها أقل مستوى للفولتية الذي يتمكن مقياس الفولتية من تحسه ويوصف عادة بمستوى الفولتية المؤثر على الجهاز في التدرجات السفلى .
فمثلاً يقال حساسية مقياس معين هي 0.1 مايكرو فولت .

ج - درجة الوضوح / Resolution

وهي درجة تغير المقياس عند تغيير فولتية الدخل dc بقيمة صغيرة . ويمكن وصف هذه الصفة بطرق متعددة وبالاكتفاء على نوع مقياس الفولتية نفسه .
فدرجة الوضوح في مقياس فولتية تناظري dc هي مقدار الفولتية التي تغير المؤشر تقريباً واحداً في المقياس الأصغر (مايكرو فولت مثلاً) .

وتعبر درجة الوضوح في مقياس الفولتية التفاضلية dc ، بالنسبة المئوية من قراءة المقياس الكامل . فمثلاً تذكر درجة الوضوح بالآتي :

$$0.01 - \pm \text{ بالمائة من أعلى قراءة للمقياس في درجة معينة .}$$

أما درجة الوضوح في مقياس الفولتية الرقمية فيعبر عنها عادة بعدد الأرقام المتوفرة في لوحة العرض .

د - الدقة Accuracy

الدقة هي تعبير عن أكبر خطأ مسموح به ويعبر عنه بنسبة مئوية أو بقيمة مطلقة . وهناك عدد من الطرق في تعريف الدقة نذكر قسماً منها بالآتي :

$$1 - \frac{\text{(قيمة التأشير - القيمة الحقيقية)} \times 100}{\text{القيمة الحقيقية}} \geq \text{النسبة المئوية للقراءة}$$

$$2 - \frac{100 \times (\text{قيمة القراءة} - \text{القيمة الحقيقية})}{\text{نسبة مئوية من أعلى قراءة في التدرج}} \leq \text{قيمة أعلى قراءة في التدرج}$$

$$3 - \text{عدد من أجزاء التدرج} < (\text{قيمة القراءة} - \text{القيمة الحقيقية}) .$$

$$4 - \text{عدد الفولتات (X)} \leq (\text{قيمة القراءة} - \text{القيمة الحقيقية})$$

نوع

مقياس DC -	التدريج	الدقة %	مقاومة الدخل	إسرة القراءة	درجة الوضع
مقياس دوي أرستانك	60 mV to 5,000 V	≥ 1	100 Ω to 1 MΩ	0.5 mV
مقياس عاك ومضخم	0.1 to 1,000 V	≥ 1	>100 kΩ	1.0 mV
مقياس القاطع	3 μV to 1,000 V	≥ 1	>100 kΩ	0.1 μV
جهاز : موجة زمن - إلى فولتية	1 mV to 1,000 V	≥ 0.005	>10 ⁴ Ω	1 ppm of range
موجة تدريجية	0.1 to 1,000 V	≥ 0.05	>10 kΩ	5	10 μV
التحريب الترام	0.1 to 1,000 V	≥ 0.02	>10 kΩ	100	1 μV
توازن مستمر	0.1 to 1,000 V	≥ 0.02	>10 kΩ	100	1 μV
تكميل	0.1 to 1,000 V	≥ 0.005	>10 kΩ	50	1 ppm of range

يعتمد استخدام مواصفات الدقة هذه على نوع وتعميد مقياس الفولتية dc ويغض النظر عن طريقة تعريف الدقة او وضعها فالذي يهمنا هو معرفة مقدار الخطأ في القراءة (كنسبة مئوية مثلاً).

هـ - الاستقرار **stability**

الاستقرارية هي مقياس لقدرة الجهاز في الحفاظ على الدقة المحددة ولدة زمنية معينة . ويمكن وصف الاستقرارية بجزئين .
الاستقرارية لمدة طويلة . واستقرارية الجهاز لمدة زمنية قصيرة . فمثلاً استقرارية جهاز مقياس الفولتية الرقمي (DVM) تكون في حدود عالية قد تبلغ ± 0.04 بالمائة من مقدار القراءة في التدرج ولدة 90 يوماً . في حين تكون الاستقرارية لمدة قصيرة في حدود ± 0.002 بالمائة من القراءة ولدة يوم . وهناك تعريف اخر لاستقرارية المدة القصيرة وهي تعبير عن التغير ، في مدة زمنية معينة مثلاً 0.001 بالمائة خلال ساعة او 0.005 بالمائة خلال يوم . وتستخدم مواصفات الاستقرار عادة في المقاييس الدقيقة مثل المقاييس الرقمية عالية الدقة .

و - زمن الاستجابة **Response Time**

ان زمن الاستجابة هي ميزة تصف الزمن اللازم من لحظة تسليط الإشارة لاعطاء قراءة تدرج كامل الى لحظة استقرار الجهاز ويتضمن ذلك زمن تغير القطبية او تغيير التدرج وقد لا تذكر هذه المواصفات في الاجهزة الاعتيادية الا انها مهمة في الاجهزة السريعة او الذاتية (في تغير القطبية او التدرج) .

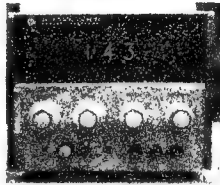
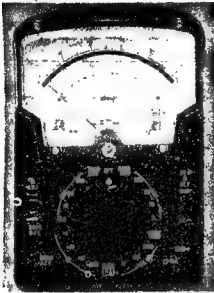
ز - ممانعة الدخل **Input Impedance**

تكون هذه الصفة او المقدار مهمة جداً في اجهزة القياس فهي تمثل مقدار الحمل او الممانعة المركبة **Complex load** لمقياس معين والتي تؤثر على الدائرة المراد قياسها . ويذكر عادة مقدار المقاومة والمتعة التي يجب ذكرها وخاصة في الترددات العالية نسبياً .

8.7 المقاييس الالكترونية متعددة الاغراض :

تطلق هذه الصفة على الجهاز الذي يمكن استخدامه بدلاً من عدد من الأجهزة اما بالنسبة للأجهزة الالكترونية وخاصة في الصناعة فتستخدم هذه الكلمة على المقاييس التي يمكن استخدامها في الحصول على أكثر من قيمة من القم الانية :

فولية dc . فولتية ac . مقاومة dc . نيار dc
وسحاول في هذه الفقرة الافتصار على انواع الساع الاستخدام فقط . يمكن عرض السانج عادة بوساطة مؤثر ميكانيكي في المقاييس التناظرية او اعطائها بشكل ارقام على لوحة عرض كما في الأجهزة الرقمية . ويوضح الشكل 8.15 نموذجاً لذين النوعين .



الكل (8.15) نموذجين من اجهزة القياس متعددة الاعراض

8.8 قياسات الاجهزة المتعددة الاغراض :

1 - قياس فولتية الـ dc :

وهي من التطبيقات الاساسية للجهاز متعدد الاغراض . ويتم تحويل بقية القياس عادة الى فولتية dc تتناسب مع اشارة الدخل سواء كانت فولتية أو تياراً..... ثم قياس فولتية dc بقياس اعتيادي مثل مقياس الحديدة المتحركة وهذا يمكن استخدام المقياس في حالة ac او dc .
يمكن قياس فولتية dc بعدد من الطرق منها .

أ - استخدام مقياس ارسنفال الاعتيادي والرخيص الكلفة ، بعد اضافة مقاومات مختلفة القيم للحصول على تدرجات مختلفة للفولتيات . وربما يزود المقياس بمضخم الكتروني للسيطرة على حركة المقياس .
وتستخدم المقاييس الرقمية في قياسات فولتية الـ dc في التطبيقات الدقيقة ويستخدم النوعان في الاجهزة الرقمية وهما :

أ - نوع الانحدار الفولت - الزمن (Votag-to-time Ramp)

ب - الانحدار التدرجي (Staire case-Ramp)

وقد يكون لهذين النوعين حدوداً معينة للخطأ تعتمد على التشويش وبعض العوامل الاخرى كما ذكرت في فقرات سابقة .

2 - قياس فولتية الـ ac :

وتكمن هذه الكميات المهمة وهي قياس (جـمـت) للموجة . وتم عملية القياس بتحويل او توليد موجة فولتية dc تتناسب مع (جـمـت) الموجة ومن ثم قياس فولتية dc . ويستخدم لهذا الغرض مغير ac يقوم بتغيير ac الى dc .
هناك عدد من انواع المغيرات بصورة عامة وهي تعتمد على طبيعة استجابتها للموجة الداخلة ومن هذه الانواع :

أ - اجهزة تستجيب لـ جـمـت الموجة

ب - اجهزة تستجيب لمعدل الموجة

ج - اجهزة تستجيب لذروة الموجة

وتعتمد دقة الجهاز بصورة عامة على كفاءة المغير وسرعة استجابته ويكون قياس الكمية الاولى (جـمـت) دقيقاً ويستخدم في ذلك عناصر الاقتران الحراري من اجل الحصول على تأثير للموجة بشكل حراري . في حين تكون قياسات الذروة والمعدل غير دقيقة في الموجات الكهربائية عدا الموجة الجيبية . وقد ذكرت مواصفات ودوائر قسم من هذه الاجهزة في فقرات سابقة من هذا الفصل .

استخدامات المقياس متعدد الاغراض :

— يجب ربط الفولتية المراد قياسها الى مقياس الفولتية بتوصيلات محكمة التثبيت وأن تكون صغيرة المقاومة قدر الامكان وذلك من اجل خفض الخطأ والناتج من مرور تيار في الاسلاك الى أقل ما يمكن .

وهناك خطأ آخر قد ينتج من التوصيلات الداخلة الى الجهاز وذلك بسبب الاقتران الكهرومغناطيسي او الكهروستاتيكي مع اشارات غير مرغوب بها والتي تدخل بواسطة هذه التوصيلات الى جهاز القياس .

8.9 المقاييس الالكترونية للقدرة :

تختلف المقاييس الالكترونية المستخدمة لقياس معدل القدرة الكهربائية في تقنياتها في طريقة الحصول على موجات التيار والفولتية لمصدر قدرة معين والتي ينتج عنها سلسلة من القدرة الآنية ومن ثم الحصول على معدل القدرة . فمنها ما يحول موجتي التيار الى مجموعة من النبضات تتناسب مع مقدار كل منها في لحظة معينة ومن ثم تضرب ببعضها او يحسب المعدل او غير ذلك وغالباً ما تستخدم هذه الفكرة لتزويد معالج دقيق او حاسبة الكترونية . وهناك نوع آخر يعتمد على تجزئة الموجات الى مدد زمنية متساوية ومن ثم ضرب هذه الاجزاء ببعض والحصول على القدرة .

فمثلاً تستخدم مقاييس القدرة نوع (NPL) الحديثة دائرة رقمية تعتمد على فكرة (Sample and hold) وتتخصص في اخذ الفولتية V_x والتيار I_x الآنيين ومن ثم استخدام دائرة رقمية اخرى لعملية الضرب ومن ثم جمع حاصل الضرب $(I_x V_x)$ وإيجاد المعدل بعد ذلك .

وتكون دقة هذا الجهاز في حدود $\pm 0.03\%$ بصورة عامة وقد تصل الى $\pm 0.01\%$ في الترددات الواقعة بين 50 الى 400 هرتز .

اما الطريقة الثانية وهي عملية ضرب الاجزاء الزمنية فتعتمد على تكوين موجات مستطيلة بشكل نبضات ذات ارتفاع وعرض يتناسبان مع الفولتية الآنية V_x والتيار I_x على التوالي ويكون معدل المساحة $I_x V_x$ متناسباً مع القدرة . وتصل دقة هذا النوع من مقاييس القدرة الى $\pm 0.05\%$ في الترددات 50 الى 500 هرتز والى قدرة تصل 6 كيلوواط تقريباً .

ويتوفر في الوقت الحاضر عدد كبير من مقاييس القدرة التي تعتمد بفكرة عملها على مقدار القدرة والتردد التي تعمل فيها فمنها ما تستخدم لقياس قدرة dc والاخرى لقياس ترددات واطئة وثالثة لترددات عالية وهكذا .

8.10 المقاييس الالكترونية للطاقة الكهربائية :

تتوفر مقاييس الطاقة الألكترونية في الوقت الحاضر والتي تنافس المقاييس الميكانيكية الاعتيادية المتوفرة في البيوت والمحلات . اذ تتكون هذه الانواع من اجزاء شبه الموصلات والماسحيزات في دقة قراءتها ورخص كلفتها فضلاً عن الاعتيادية او العول العاليين مقارنة مع المقاييس الاعتيادية . كما يمكن اضافة عوامل اخرى لاعطاء معلومات مفيدة للمستهلك مثل مجموعة القراءات خلال فترة معينة ، ومعدلها وسعرها وغير ذلك . وغالباً ما تحوي مثل هذه المقاييس على معالجات دقيقة ترمج حسب ما يتطلب منها وتخزن المعلومات لفترات طويلة في ذاكرات لا تتأثر محتوياتها بانقطاع المصدر الرئيس للقدرة . كما تزود عادة بنوطة عرض ضوئية لاعطاء القراءات بشكل ارقام مرتبة . ولا يزاك مثل هذه الاجهزة المفيدة غير متوفرة في قطرنا بصورة تجارية حق الآن .

8.11 المذبذبات الالكترونية :

تطلق كلمة المذبذبات عادة على الجهاز او الدائرة التي تولد موجة جيبية عند المخرج ويعد المذبذب من اقدم الاجهزة المستخدمة في عملية المقياس والتصميم والفحص . لذلك نرى تسميات مختلفة بهذا الجهاز مثل مذبذب الفحص ، او مولد

إشارة أو مولد الدالة وغيرها من التسميات وعلى الرغم من فائدة هذه الاسماء إلا أنها لا تغطي المواصفات الهندسية الكاملة للجهاز ولذلك يجب الرجوع إلى مواصفات الشركة في معرفة نوع الجهاز وقابليته في الاستعمال لغرض معين .

ونحاول في الفقرات القادمة شرح مذبذب الموجة الجيبية وأنواعها والتي تولد موجات بترددات عالية تصل إلى 100 ميكاهرتز .

8.11.1 اصناف المذبذب :

يمكن تصنيف المذبذبات بصورة أساسية بعدد من الطرائق كما هو موضح :

نوع المذبذب	مجال التردد
١ . مذبذب بتغذية عكسية	ترددات مجموعة 20 هرتز - 20 كيلوهرتز
٢ . مذبذب بتغذية عكسية RC	ترددات راديوية 20 كيلو - 30 ميكاهرتز
٣ . مذبذب بتغذية عكسية LC	ترددات مرئية dc إلى 5 ميكاهرتز
٤ . مذبذب الكوارتز	ترددات عالية 1.5 إلى 30 ميكاهرتز
٥ . مذبذب المقاومة السالبة	ترددات عالية جداً 30-300 ميكاهرتز

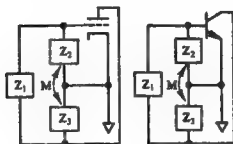
8.11.2 مذبذبات التغذية العكسية :

تقسم مذبذبات التغذية العكسية إلى ثلاثة اصناف وتعتمد في ذلك على دائرة التغذية العكسية وهي LC و RC وبلورة الكوارتز .

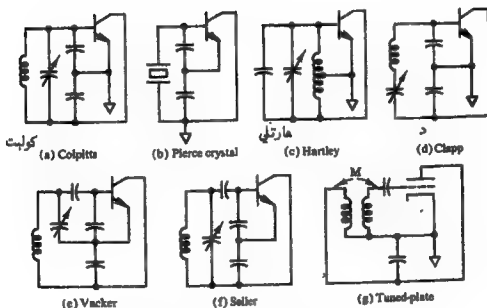
أ - مذبذبات LC :

وهو من أشهر وأقدم أنواع المذبذبات المستخدمة ومن أنواعها كولبيت Colpitts وهارتلي Hartly ، ويوضح الشكل (8.16) مخططات عامة لفكرة استخدام LC . ويتم حساب قيم الملفات والمتسمات حسب نوع المذبذب والتردد المطلوب ويوضح الشكل (8.17) عدداً من دوائر مذبذب LC . وهناك عدد متشابه من الدوائر مثل دوائر Clapp و Seller و Vacker وهي تماثل بصورة

عامة دائرة كولبيت ، قد أجريت عليها بعض التطويرات من أجل الحصول على مجال أكبر للرنين أو للحصول على استقرارية أفضل للتردد واتساع الموجة .



الشكل (8.16) مضططين عامين للمذبذب نوع
(أ) الصمام
(ب) الترانزستور



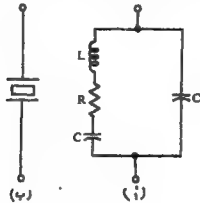
الشكل (8.17) نماذج من دوائر المذبذب LC

ويمكن تحديد تردد المذبذب نوع LC بالمعادلة الآتية :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{--- (8.1)}$$

إذ تمثل L و C في المعادلة (8.1) الحثية الكلية والمتسعة الكلية على التوالي ويمكن تغيير قيمة التردد الى ضعف أو أكثر في كثير من المذبذبات قبل أن يبدأ تأثير ذلك على اتساع الموجة ويدعى المذبذب بذلك بمذبذب التردد المتغير .

ويمكن استخدام بلورة الكوارتز للاستعاضة عن دائرة LC كما هو موضح في الشكل (8.18) إذ يشير الى الدائرة الكهربائية المكافئة لبلورة الكوارتز . والفرق الأساس بين الدائرة المكافئة للبلورة مع دائرة LC هو أن الأولى لها مجال رنيني ضيق جداً وذات استقرارية متزايدة للغاية جداً .

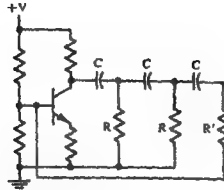


الشكل (8.18) بلورة الكوارتز
أ) الدائرة الكهربائية المكافئة
ب) رمز البلورة

ب - مذبذبات RC :

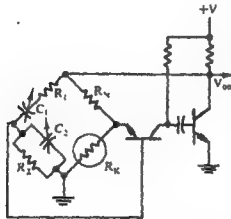
يكون لهذا النوع من المذبذبات شكلين أساسيين هما :

١ . مذبذب الازاحة الطورية phase-shift osc. كما هو موضح في الشكل (8.19) .



الشكل (8.19) مذبذب لإزاحة الطورية RC

٢ . مذبذب قنطرة وين Wien-bridge osc. كما هو موضح في الشكل (8.20) .

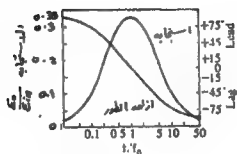


الشكل (8.20) مذبذب قنطرة وين (Wien-bridge.)

يعتمد النوع الاول على الازاحة الطورية الناتجة في دائرة RC والتي تكون مناسبة لتكوين ازاحة طورية بمقدار 180 درجة بين ادخال واخراج دائرة RC وتتكون من ثلاث مراحل ويمكن الحصول من هذا المذبذب على موجات أو اشارات بتردد منخفض يصل الى عدد قليل من الدورات (هرتز) وإلى حد عدد من مئات الكيلوهرتز وذلك بتغير قيمة R أو C أو كليهما ومن مساوئ هذا النوع من المذبذبات أن اتساع الموجة يتغير عند تغيير التردد بواسطة R أو C .

يوضح الشكل (8.21) علاقة تغيير الاتساع والازاحة الطورية نسبة للغولتية الدخل . وتوضح هذه المنحنيات أن إستجابة الاتساع العلوي يكون عندما تبلغ الازاحة الطورية خلال الدائرة صفراً . ويمكن كتابة تردد الرنين في هذه الدائرة f_0 بالعلاقة الآتية :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$



الشكل (8.21) الاستجابة والازاحة الطورية بدلالة التغير في التردد

ولذلك فهو يستخدم للحصول على تردد ثابت أو بتغيير بسيط . وقد طورت هذه الفكرة في النوع الثاني المسمى بمذبذب قنطرة وين إذ تم التقلب على مشكلة تغيير الاتساع ولذلك فقد أصبح أكثر انتشاراً من النوع الأول وخاصة في الاجهزة العملية التي تحتاج الى أعطاء ترددات مختلفة .

وذلك عندما تكون $C = C_2 = C_1$ و $R = R_1 = R_2$ تتغير قيمة التردد في مثل هذه الانواع من المذبذبات وذلك بتغير درجة الحرارة .

أما عند زيادة قيمة الاتساع فينتج عن ذلك زيادة R بتأثير الحرارة المتولدة من زيادة التيار فيها . أي تزداد قيمة التغذية العكسية السالبة مما يؤدي بدوره الى خفض كسب المضخم والحفاظ على الاتساع بقيمته الاعتيادية .

8.11.3 المواصفات العامة للاداء :

هناك خمس خواص أساسية للمذبذب بصورة عامة وهي :

- 1 - المجال الترددي
- 2 - استقرارية التردد
- 3 - القدرة أو الاتساع عند الخرج
- 4 - استقرارية الاتساع عند الخرج
- 5 - التشويش .

كما توجد خواص أخرى للمذبذب قد تكون مهمة وأساسية في بعض التطبيقات وهي :

- 1 - الدقة والتوهين في دائرة الخرج
- 2 - توازن الخرج
- 3 - الاستجابة الترددية $flatness$
- 4 - دقة التردد
- 5 - التضمين $Modulation$
- 6 - أداة قياس التردد $Monitor$
- 7 - السيطرة الطورية - التزامن
- 8 - نوع مفاتيح التغير (التردد والاتساع)

وقد لا تحتاج الى شرح هذه الانواع اذ يمكن الرجوع الى المصادر الخاصة بالدوائر والاجهزة الالكترونية للحصول على تفاصيل أكثر .

8.11.4 مصادر الخطأ في المذبذبات :

أ - الموازنة بين الممانعات والمقاومات :

اصبح استخدام المقاومتين 50 أوم و 600 أوم شائعاً في دوائر اخراج اجهزة المذبذب . لذلك يجب موازنة هذه الممانعة أو المقاومة مع الممانعة أو المقاومة الخارجية للدائرة المربوطة الى المذبذب ، فمن المعروف أننا نحصل على القدرة العليا في حالة $R_L = R_g$ وقد يكون هذا غير ملائم في بعض الاوقات وخاصة

عند الاهتمام بالفولتية او التيار فقط (دون الاهتمام للقدرة) . ولتعريف قدرة الخرج العليا يمكن كتابة الآتي :

$$P_{out} = V_{out} I_{out}$$

$$V_{out} = \frac{V_{max} R_L}{R_L + R_s}$$

$$I_{out} = \frac{V_{max}}{R_L + R_s}$$

$$P_{out} = \frac{V_{max}^2 R_L}{(R_L + R_s)^2}$$

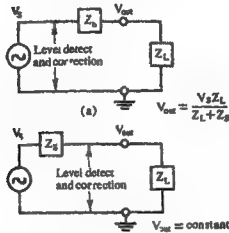
ويمكن ملاحظة قيمة القدرة عند الترميز بقيم حسابية لكل من R_L و R_s و V_{max} ولا نحصل على القيمة العليا الا عند الشرط السابق $R_L = R_s$.

وتكون مقاومة الاسلاك او الكيبل الموصل بين الاجهزة مهمة جداً في عملية المواءمة او التوفيق بين الممانعات فاذا كان خرج المذبذب ذا مقاومة 50 أوم فيكون عمل الجهاز المثالي عند ربطه بمقاومة 50 أوم كذلك والا ظهر تأثير المتسعة والمفاعلة للكيبل وخاصة في الترددات العليا والتي تؤثر على قيمة القدرة الخارجة من المذبذب .

ب - مستوى الخرج :

من المناسب جداً في معظم القياسات الحصول على اتساع ثابت لموجة خرج المذبذب دون التأثير بتغيير التردد . يوضح الشكل (8.22) طريقتان تستخدمان في عملية تصحيح مستوى الخرج . اذ ينتج من الاولى فولتية ثابتة عبر ممانعة الحمل . وتمطى الطريقة الثانية V_{out} فولتية ثابتة دون الاهتمام لـ Z_s او Z_L

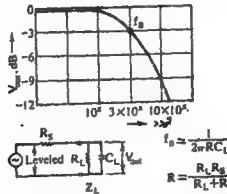
او التردد وتكون هذه الطريقة اكثر ملائمة في الاستخدام اذ لا نحتاج الى عملية معادلة الحمل بدوائر اخرى (Load compensation).



الشكل (8.22) تصحيح مستوى الخرج .

ج - تغيير ممانعة الخرج :

إن عملية تغيير اتساع الموجة يؤدي لسوء الحظ الى تغيير في ممانعة خرج المذبذب وذلك عند تغيير تدرج الموهن للحصول على فولتية معينة . وهذا يجعل الحصول على توفيق بين الممانعات أكثر صعوبة في الحصول عليه . يوضح الشكل (8.23) نموذجاً لمعالجة هذه المشكلة .



الشكل (8.23) تغيير فولتية الخرج بدلالة التردد .

لاحظ أن التدرج العلوي لاشارة الخرج تكون $R_p = 0$ صفراً في حين يدخل الموهن في طريق الاشارة لاعتناء مقاومة 50 اوم عند الخرج في التدرجات الاخرى كافة فإذا كان الحمل 50 اوماً وكذلك مقاومة الكيبل تساوي 50 اوم فإن عملية المواءمة تكون مثالية .

تظهر هذه المشكلة في مذبذب LC بصورة أوضح منها في حالة RC لان الاولى لها طيف ترددي أعلى من الثانية . ولذلك فمن الافضل دائماً وضع الممانعات وطريقة مواءمتها مع بعض في مذبذب الترددات العالية والتي تحوي على موهن .

8.12 الاجهزة الالكترونية لتحليل الموجات :

تعد مجموعة الاجهزة الالكترونية لتحليل الموجات من المجموعات المهمة المستخدمة في تحليل النتائج والموجات الصادرة من بعض اجهزة القياس او الحاسبات . وتعمل هذه الاجهزة في مدى ترددي واسع ولها قيم معينة للقدرة والفولتية والنسب وغير ذلك . وهي تفيد في مجالات متعددة مثل :

- أ - دراسة وتحليل سلوك الدوائر الالكترونية والكهربائية .
- ب - تركيب عدد من الاشارات المختلفة للحصول على اشارات معقدة تفيد في عمليات التشفير والاثالات .
- ج - معرفة الموجات الدخيلة (التشويش) المؤثرة على الموجة الرئيسية في الشبكات المختلفة .

ويلاحظ ان الاجهزة العملية المتوفرة في الوقت الحاضر في التحليل والتي سيورد ذكرها في الفقرات القادمة مثل محلل الشبكات الكهربائية ومحلل الاشارات ومحلل الطيف الموجي او محلل فوريير (Fourier) وكذلك الراسم الالكتروني الرقمي كلها قد اصبحت اجهزة معقدة بعض الشيء ويمحو اغلبها في الوقت الحاضر على ذاكرات لحفظ المعلومات ومعالجات دقيقة وغيرها وفيما يلي الخواص العامة لبعض هذه الاجهزة .

8.12.1 محلات الشبكات الكهربائية

يستخدم هذا الجهاز في تصميم وتركيب الدوائر والانظمة المعقدة . يحتوي الجهاز عادة على مصدر لموجات مسح موجبة (Sweep) يقوم بتجهيز النظام المراد قياسه وذلك باستعمال توصيلات ومغيرات اشارة (Transducers) لربط ادخال واخراج النظام بالجهاز ويمكن بعد ذلك الحصول على الخواص العامة للنظام او الشبكة عند تردد معلوم والحصول كذلك على دالة التحويل $Transfer function$ للاتساع والطور . وقد تعطى محلات الشبكة ذات الترددات العالية خواص الشبكة نسبة الى الفقد وعوامل الانعكاس المركبة وتأخير الاشارة في الشبكة بين لحظة الادخال والاخراج وغيرها .

وتصمم مثل هذه الاجهزة لتقوم بمعمليات القياس والتحليل ذاتياً وخاصة اذا تم بناؤها والسيطرة عليها بأجهزة مبرمجة او التي تربط مباشرة الى خطوط انتاج .

8.12.2 محلات الطيف الموجي :

لا تعمل مثل هذه الاجهزة عادة كمصدر لموجة معينة فهي تستخدم لمعرفة المركبات الموجبة من ناحية القيمة والطور ضمن مجال ترددي معين وتحول مثل هذه القياسات داخل الجهاز الى معلومات رقمية تخزن في الذاكرة الرقمية وقد يتم عرضها في راسم الكتروني او يتم معالجتها للحصول على بعض القيم المحددة مسبقاً بواسطة برنامج مثل :

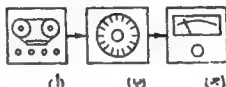
- أ - المعدل الزمني لتكرار بعض الموجات .
- ب - احتمالية توزيع المركبات الترددية ضمن المجال المحدد .
- ج - قيم مفيدة اخرى مثل معدل القدرة او (جـمـت) للطيف وغيرها .

8.12.3 محلل فوريير Fourier

تستخدم محلات فوريير تقنيات الاشارات الرقمية لتزويد وسائل مشابهة لمحلات الطيف الموجي وبشكل اكثر مرونة . وتعتمد تقنيات فوريير على حساب حدود سلسلة فوريير باستخدام الطرق السريعة في تحديد قيمة وزاوية كل حد من هذه الحدود التي تكون احدى مركبات الموجة . وهذه الطريقة يمكن حساب قيم

وزاوية الترددات الواطئة جداً والتي تقل في بعض الأحيان عن 1 هرتز فضلاً عن القياسات اللازمة للترددات العالية. وإلى حد 100 كيلوهرتز مثلاً. وتطبق هذه الفكرة من الناحية العملية في مجالات مختلفة أخرى عدا الموجات الكهرومغناطيسية مثل قياس وتحليل الاهتزازات والتشويش وانتقال الصوت خلال مجالات مختلفة ... إلى غير ذلك.

يتكون جهاز التحليل هذا من مرشح متغير الضغط ومقياس فولتية mV يستخدم لقياس الموجة الأساس والتوافقيات كما في الشكل (8.24)، وهذا أبسط أشكال المحلات الترددية.

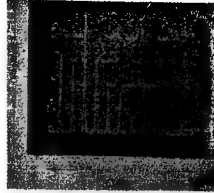
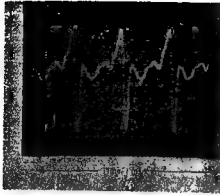


الشكل (8.24) محل ترددي
 (أ) مسجل جهاز تسجيل
 (ب) مرشح منظم
 (ج) مقياس فولتية mV .

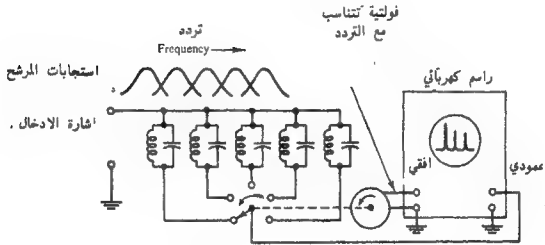
ويكمن تصنيف المحلات إلى صنفين رئيسيين :

- ١ . محل المجال الزمني .
- ٢ . محل المجال الترددي .

ويلاحظ شكل (8.25) الناتج الخارج من المحلل في لوحة عرض الراسم الإلكتروني الرقمي كما يوضح الشكل (8.26) المحلل الترددي ، المكون بصورة رئيسة من مرشح ومغير تردد إلى فولتية وجهاز الراسم الإلكتروني الرقمي لقياس وتوضيح الفولتية عند كل تردد .



الشكل (8.25) المجال الزمني والمجال الترددي كما هو ناتج من
 أ) محلل طيفي
 ب) راسم الكتروني



الشكل (8.26) محلل ترددي .

اسئلة الفصل الثامن

- (1) ماهي انواع مقياس الفولتية الالكتروني وماهي فوائد استخدام مثل هذه الانواع مقارنة مع المقاييس التناظرية الساتوة .
- (2) ماهي المزايا والصفات الاساسية في اختيار مقاييس الفولتية الالكترونية عدد هذه المزايا ذاكرأ امثلة رقمية بسيطة .
- (3) ماهي الاجزاء الرئيسة لمقياس فولتية - النوع المتكامل ، وضع ذلك بمخطط كتلي عام .
- (4) استخدم مقياس الكتروني للفولتية ذو $3 \frac{1}{2}$ مرتبة في قياس فولتية معينة .
 أ) جد درجة الوضوح resolution الجهاز
 ب) كيف يتم عرض الفولتية 14.53 عند التدرج 10 فولت ؟
 جـ) كيف تظهر قراءة الفولتية 14.53 عند استخدام التدرج 100 فولت اذا استخدم المقياس المذكور في المسألة ؟
- (5) اشرح بالتفصيل اجزاء وعمل مقياس الفولتية الالكتروني نوع -السنم
- (6) كيف يتم قياس القدرة والطاقة الكترونياً . اذكر مثلاً يوضح هذه العملية في ايجاد هاتين الكميتين تناظراً . ثم اعط فكرة عن كيفية قراءتها بصورة رقمية .
- (7) هناك عدد كبير من المذبذبات المستخدمة في الحصول على موجات معينة كيف يتم تصنيف هذه المذبذبات وماهي المزايا العملية لكل نوع .
- (8) يمكن قياس الموجات الجيبية بمقاييس اعتيادية ، كيف يمكن قياس الموجات (تيار - او فولتية) عند احتوائها على اكثر من تردد واحد .
- (9) ماهو محلل الطيف الموجي وكيف يعمل وماهي استخداماته . وضع ذلك بمخطط كتلي ذاكرأ فائدة كل جزء منه .

مَعْدَادُ التَّرَدُّدِ وَقِيَاسُ الْمُدَّةِ الزَّمَنِيَّةِ

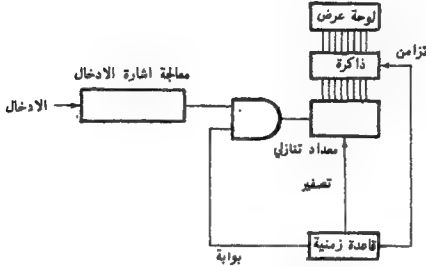
9.1 مبادئ المعداد الترددي :

تعد المقاييس القياسية للتردد والمدة الزمنية مقاييس واحدة على اختلاف وضعها في محطات الإرسال والاستقبال إذ ترسل الإشارات بتردد معين وفترة زمنية معينة للموجة الواحدة إلى جهة الاستقبال حيث تستقبل بالتردد والمدة نفسها . وبذلك يمكن الربط بين الأسس الأولية للقياس بينها بدون صعوبة تذكر . وكما تعلم أن تثبيت هذه الأسس القياسية في مختلف أنحاء العالم يسهل عملية القياس ويعطي نتائج لقياسها بدقة عالية ، وباستخدام أجهزة الكترونية متطورة للحصول على قابلية عالية في استعمالها . فمثلاً نحتاج إلى حزمة ترددية بمقدار 15 كيلوهرتز لنقل الصوت المسموع خلال قناة FM أي يجب تحديد قيمة هذا التردد 15 كيلوهرتز وقياسه بدقة للتمكن من تحديد الحزم الترددية خلال القناة الراديوية وكفاءة عالية . ولذلك نلاحظ وبسبب توفر التقنية الدقيقة في القياس تحديد الحزم كل 20 كيلوهرتز في حزمة VHF (450 ميكاهرتز) ويتطلب ذلك دقة واستقرارية تردد الموجة الحاملة بمقدار 5 كيلوهرتز . أي أقل من 0.01 بالمائة ، وهي عملية سهلة في هذا الوقت لتوفر الأجهزة الحديثة للقياس .

وعلى الرغم من وجود قيم قياسية ثابتة للتردد منذ عدة سنوات إلا أن القياس الدقيق للتردد لم يكن سهلاً دائماً . إذ تطلبت عملية القياس الدقيقة للتردد إلى مقاومات ترددية دقيقة وإلى مذبذبات مستقرة فضلاً عن تعقيد الأجهزة وصعوبة القياس واستمرت حتى ظهور دوائر المنطق والالكترون الرقمي

اعتمد المصدر (8) أساساً في هذا الفصل

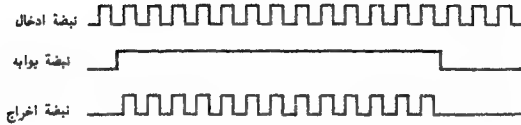
وتطور معدات التردد . يوضح الشكل (9.1) مخططاً عاماً لأجزاء معداد ترددي بسيط .



الشكل (9.1) مخطط عام لأجزاء معداد ترددي بسيط .

تقوم فكرة عمل المعداد الترددي على ادخال الإشارة (بتردد معين) الى المعداد. لفترة زمنية محددة . فمثلاً اذا ادخلت إشارة ترددية الى المعداد لمدة زمنية تساوي ثانية واحدة بالضبط، فيكون عدد الدورات التي سمح لها بالدخول خلال هذه المدة الزمنية هو تردد الموجة الداخلة . ويمكن استخدام البوابة المنطقية AND أو OR لفرض تحديد المدة الزمنية وادخال موجة الإشارة . يوضح الشكل (9.2) الموجات العائدة لهذه العملية . ويوضح هذا المثال بوابة AND وقد سلط على أحد مداخلها نبضة صاعدة (positive going) لها مدة زمنية تساوي ثانية واحدة . ومادام المنطق - (1) مستمر لمدة ثانية واحدة عند الادخال اذن تكون مدة النبضة الخارجة هي ثانية واحدة كذلك . وتعود الى الصفر حال عودة موجة الادخال الى الصفر . ويكون من الضروري بعد ذلك حساب عدد الدورات الخارجة وعرضها لمعرفة قيمتها (أو عددها) .

اذا فتحت بوابة الادخال لمدة ثانية واحدة فان العدد الناتج من جمع الدورات يمثل معدل التردد لموجة الادخال (هرتز) اما اذا فتحت البوابة لمدة 10 ثوان مثلاً فيكون حاصل العد هو معدل التردد مقسوماً على عشرة . ومن



شكل (9.2)

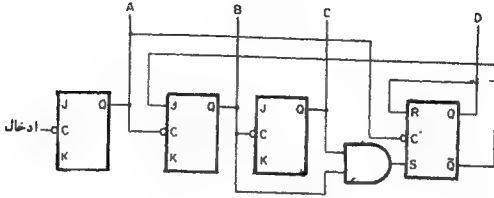
ناحية اخرى اذا فتحت البوابة لمدة 0.1 ثانية فحاصل العدد في هذه الحالة يمثل معدل التردد مضروباً بـ (10) ولذلك نلاحظ ان المعداد الترددي الذي يجري على مفتاح لاختيار زمن الادخال (فتح البوابة) يكون له قارزة عشرية متغيرة .

9.2 المعدادات العارضة :

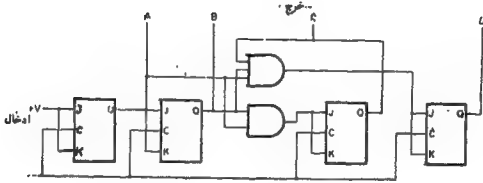
تتكون دوائر العد في الناحية العملية من معدادات الدوائر المتكاملة لذا يكون ربطها واستخدامها من الامور السهلة والمتيسرة . ومن المفيد هنا معرفة عمل هذه الدوائر المتكاملة بصورة عامة لتتمكن من استخدامها بالطريقة المثلى .

إن المعداد التنازلي هو الجزء الرئيسي في المعداد الترددي والذي يمكن الحصول عليه من دوائر المهاز (FLIP-FLOP) وبوابة AND كما هو موضح في الشكل (9.3) ويدعى هذا النوع من المعدادات بالمعداد التومجي ويلاحظ ان الساعة فيها مكونة من دائرة مهاز واحدة تساق من الاشارة الخارجة من مهاز سابق والذي يتطلب موج نبضات الساعة خلال المعداد من المرحلة الاولى الى المرحلة الاخيرة . ويتم سوق المرحلة الاخيرة من الساعة التابعة الى المرحلة الاولى والتي تحافظ على خفض زمن التأخر الى درجة معينة .

هناك طريقة اخرى في بناء المعداد وذلك باستخدام المعداد التزامني ، كما موضح في الشكل (9.4) وترتبط ساعات الـ flip-flop كافة مع بعضها ، وبذلك يمكن الحفاظ على تأخر انتشاري منخفض ويسمح بالحصول على سرعة عالية في عمل المعداد .



شكل (9.3) معداد عشري

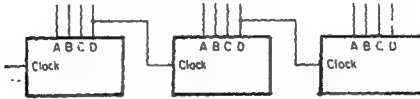


ويمكن تكوين المعداد التنازلي بتسلسل معين كما هو موضح في الشكل (9.5) ويدعى ذلك بالنظام الثنائي المرمز عشرياً (BCD) والذي يشير اسمه الى استخدام النظام الثنائي الاعتيادي لأن كل رقم يعرف الارقام من 1 الى 9 فمثلاً يمكن تعريف الرقم 147 في نظام BCD بشكل 0001 0100 0111 يستخدم معداد BCD واحد لمرتبة واحدة فقط . إذ يجب ربط عدد من هذه المعدادات على التوالي للحصول على قراءة لمراتب عشرية متعددة . فمثلاً تربط ثلاثة معدادات BCD عند الحاجة الى عد الارقام بين 0 الى 999 وهناك طريقتان لعملية ربط معدادات BCD مع بعضها . وهي الربط التموجي أو الربط التزامني .

ساعة	حالة العداد			
	D	C	B	A
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	0	0	0	0

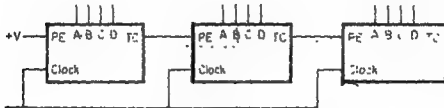
الشكل (9.5) تسلسل العداد التنايلي المرمز عشرياً

إن استخدام الربط التتوحي في الوقت الحاضر أصبح مقتصرأ على العدادات الخاصة بالترددات الواطئة ، إذ يكون بطيئأ جداً . ونحتاج في الربط التتوحي الى اشارة المرحلة الاخيرة في معداد المرتبة الاخيرة لسوق المرحلة الاولى من معداد المرتبة الآتية (الاعلى) . ويوضح الشكل 9.6 كيفية ربط هذه الاجزاء .



شكل 9.6 ربط العداد التتوحي

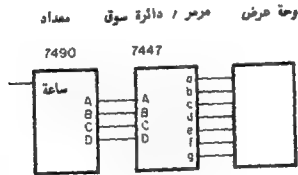
اما العداد التتوحي فيحتوي على طرف اخر خاص بالرقم المحمل والذي يضاف الى المرتبة الآتية في العداد التتوحي ، كما هو موضح في الشكل (9.7) يصبح خرج هذا الطرف ينطق 1 بعد النبضة الزمنية التي تغير حالة العداد الى الـ 9 . وبذلك يكون العداد جاهزأ . لزيادة المرتبة التالية عند وصول النبضة الزمنية التالية .



شكل 9.7 ربط اجزاء العداد التتوحي .

وبذلك نضمن تزامن عمل العداد مع النبضة الزمنية الصادرة من الساعة . وعند ربط أكثر من عداد تزامني على التوالي ، تكون متطلبات تغير حالة العداد متوقفاً على وصول العدادات الخاصة بالتراتب الأدنى الى الرقم 9 . وتحتوي معظم العدادات الموضوعة في دوائر متكاملة على منطق داخلي والذي يخبر عن وصول الرقم 9 في المراتب الأدنى من المرتبة المطلوبة . وتأخر هذه العملية من عمل وخاصة عند ربط عدد كبير من العدادات على التوالي . اذن ولتلافي هذه المشكلة تستخدم طريقة أخرى في الناحية العملية وتدعى بـ ((النظر بعيداً)) أو بتوجيه الرقم المحمل وهي تستخدم لحفض مقدار تأخر الانتشار .

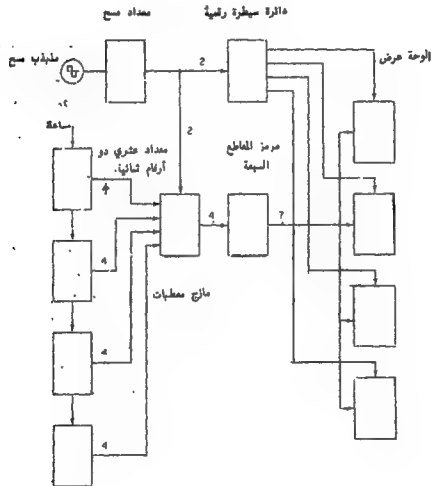
وبعد الانتهاء من عملية العد والحصول على معلومات بشكل BCD عند خرج العداد يجب تحويلها وعرضها بشكل يمكن رؤيته على شاشة أو طبعة على ورق معين ، حسب ماهو مرغوب به . فمثلاً يمكن اجراء هذا التحويل ونقله الى الارقام المرتبة المسماة بالمقاطع السبعة والتي تتطلب استخدام دائرة متكاملة واحدة رخيصة الثمن . ويوضح الشكل (9.8) معداداً ذا حجم ارقام ثنائية مربوطاً الى المقاطع السبعة يجب اظهار الرقم المطلوب من العداد الترددي بشكل مستمر اذ يصغر العداد عادة ثم يبدأ العد خلال مدة التبويب . وخلال هذه المدة تكون قراءة العارضة متغيرة بصورة مستمرة ولا يمكن قراءتها . لذلك يجب تخزين القراءة عند نهاية العد (التي تمثل الرقم المطلوب) في خزن بسيط ويكرر عرضه على العارضة خلال مدة العد التالية . ويتكون هذا الخزن من هازن لاربعة ارقام ثنائية لكل مرتبة من مراتب الـ BCD .



شكل (9.8) حفظ عام لعداد تنازلي مربوطاً الى عارضة السبع مقاطع

تستخدم عادة بعض الدوائر المكبرة ودوائر التوفيق بين العارضة (7) - مقاطع) ودوائر المعداد المنطقية لتزويد الاولى بالتيار اللازم لها اذ لا يمكن ربطها مباشرة الى خرج الدوائر المتكاملة.

تتوفر بعض التقنيات العملية لخفض عدد الدوائر الالكترونية اللازمة وخاصة في المعدادات التي تتطلب اعداداً كبيرة من الارقام، أكثر من 10 مثلاً. ويوضح الشكل (9.9) إحدى هذه التقنيات وتدعى بـمزج أو تداخل العرض وهي تخفض من عدد دوائر التكبير والمرمّزات المطلوبة في مثل هذه المعدادات الكبيرة.



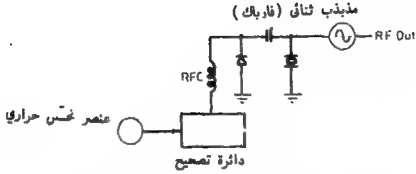
شكل 9.9 مخطط توضيحي للوحة عرض مازجة تستخدم في معداد ترددي

في هذا المثال يشارك مرمرز واحد مشترك ودائرة توفيق واحدة في اظهار الارقام جميعاً اذ تقوم دائرة المزج multiplexer باختيار بيانات BCD من احد المزالج وارسال هذه المعلومات الى مرمرز العارضة ويقوم هذا المرمرز بدوره بعرض المعلومات على المقاطع السبعة . ويتم السيطرة على العمليات باجمها بواسطة مذبذب ومعداد يسميان (مذبذب ومعداد المسح) (Scan Oscillator & Counter) وبتكرار هذه العملية عدداً من المرات وبسرعة معينة نلاحظ العارضة وكأنها ثابتة . وتظهر فائدة هذه التقنية عند جمع دوائر المعداد الترددي في شريحة سليكونية واحدة .

9.2.1 القاعدة الزمنية : Time base

يتم التحكم في تسلسل العمليات التي تجري في المعداد بواسطة القاعدة الزمنية (time base) الذي يزود التوقيت اللازم لاجراء العمليات ، مثل تصغير المعداد وفتح بوابة العد ، وغلقها ، وكذلك خزن القراءة في المزلاج . تكون عملية تصغير المعداد وخزن المعداد حوادث او عمليات غير حرجة من ناحية الزمن طالما تحدث قبل او بعد مدة التبويب على التوالي . اما فتح او غلق بوابة العد من جانب آخر فهي تحدد الدقة في قراءة التردد وهي دقيقة او حرجة من الناحية الزمنية .

ويكون اعتماد الدقة في معداد التردد على اشارات القاعدة الزمنية بصورة مباشرة . يكون استخدام بلورة الكوارتز في دائرة المذبذب أمراً مهماً للحفاظ على استقرارية الاشارات الناتجة عند تغيير درجة الحرارة . وقد تستخدم بعض دوائر التعويض او التعديل لتصحيح التردد الناتج نتيجة اختلاف المصدر او الحرارة . كما هو مو موضح في الشكل (9.10) الذي يوضح مخططاً سهلاً لمذبذب بلوري (كوارتز) مزوداً بالتعديل الحراري . ويكون المذبذب البلوري الاعتيادي مشابهاً بصورة رئيسية لمذبذب التعادل ، ماعدا ربط ثنائي الفاريك عبر بلورة الكوارتز ، والذي يؤخر بتغيير التردد الى دقائق معدودة . ويكون الخطأ في تردد المذبذب البلوري خلال درجة حرارة معينة صغيراً نسبياً ويمكن خزنه في دائرة التصحيح ، وهي اما ان تكون مخزناً رقمياً digital storage او دائرة تناظرية وبخواص غير خطية . ويمكن تزويد دائرة التصحيح بدرجة حرارة المحيط ويتم ضبط تردد المذبذب بواسطة تغير فولتية الفاريك المعتمدة على درجة الحرارة .



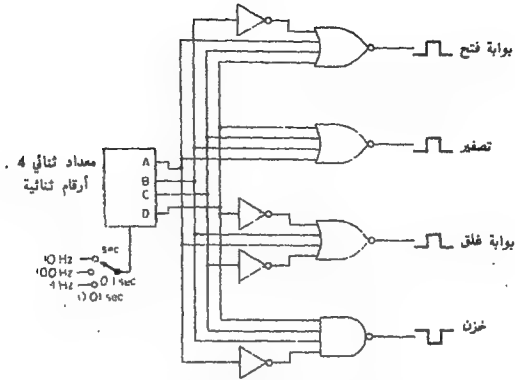
شكل 9.10 غنط توضيحي لتصحيح درجة الحرارة للمذبذب بلوري .

وفضلاً عن تأثير درجة الحرارة على التردد المذبذب البلوري هناك ظاهرة تغير تردد البلورة بعد مدة معينة من الزمن يعتمد على عمر البلورة نفسها . ويمكن خفض هذا التأثير في اختلاف التردد بمعالجة البلورة نفسها بتقنية خاصة إلا أن هذا التغير مازال مرتفع التكاليف نسبياً إذ يبلغ 5×10^{-7} جزءاً خلال السنة ويمكن التعويض عن ذلك بإعادة ضبط دائرة التعويض في مدد معينة .

نحتاج الى ثلاثة مخارج من دائرة القاعدة الزمنية وهي نبضة التصغير ونبضة التنبؤ ، ونبضة التزامن حسب تسلسلها ، يوضح الشكل 9.11 دائرة سهلة لتوليد هذه النبضات الثلاث المطلوبة من دون تداخل . إذ يقسم تردد المذبذب البلوري على مضاعفات العشرة لأن مدة النبضة لتردد البلورة اقل كثيراً من زمن التنبؤ المطلوب . ويتكون المقسم الرقمي النهائي بشكل معداد ثنائي ذي 4- ارقام ثنائية اي 16 حالة . وتستخدم كل حالة من هذه الحالات لفرض معين مثل تصغير المعداد ، نبضة تأخير ، وتحديد ، عدد النبضات الخ .

ومن المهم ملاحظة أن تأخر الانتشار من زمن ادخال نبضة الساعة الى حدوث حافات نبضات الفتح او الفلق هو نفسه في كل الحالات وبذلك يكون التنبؤ مساوياً لعدد صحيح من نبضات الساعة ونحتاج في ذلك دوائر منطقية سريعة ، وبتصميم دقيق .

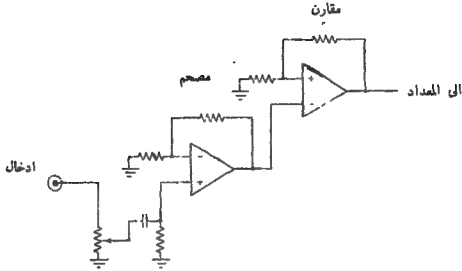
يتوفر في معظم معدادات التردد مدد زمنية متعددة يمكن اختيار اي منها بواسطة مفتاح دوراني ، كما موضح في الشكل 9.11 ويمكن اختيار المدة المطلوبة مثل 1 هرتز ، 10 هرتز ، 100 هرتز ، 1 كيلوهرتز ، بواسطة المفتاح وتعطي هذه الترددات مدد زمنية 10 ، و 1 و 0.1 و 0.01 ثانية على التوالي .



شكل 9.11 خطط منطقي - لمعداد ترددي

9.2.2 عمليات ادخال الاشارة : -

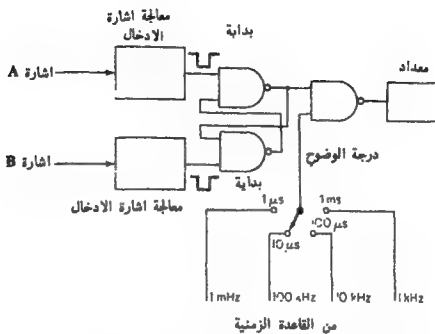
تستخدم بعض دوائر التكبير في عملية ادخال الاشارات الصغيرة (غير المروفة التردد) للتأكد من قدرتها على سوق المعداد الترددي بعد حصولها على مستوى منطقي معين . يوضح الشكل 9.12 خططاً عاماً لدائرة ادخال المعداد الترددي . وقد تكون فولتية صغيرة (ببعض مللي امبير) كافية لقدرح المعداد الترددي الذي يستخدم هذه الدائرة .



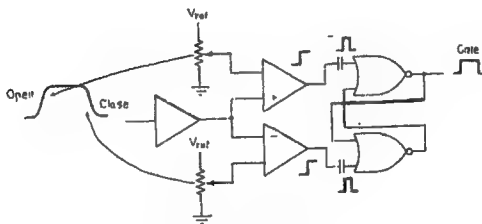
شكل 9.12 دائرة ادخال لعداد ترددي .

9.2.3 قياس المدة الزمنية :

يمكن قياس المدة الزمنية بين نبضتين عند ادخالها الى مقياس المدة الزمنية اذ تمثل احدها نبضة فتح البوابة اما الثانية فتتمثل زمن غلق البوابة كما يمكن توضيح المخطط العام لهذا الربط في الدائرة الموضحة في الشكل 9.13 ويجب معالجة اشارتي الدخل بالطريقة نفسها في عملية عد نبضات التردد المذكورة سابقاً ويمكن اجراء عملية قياس المدة الزمنية باستخدام اشارة ادخال واحدة وتكون هذه الفكرة مفيدة في تحديد المدة الزمنية لنبضات او أية اشارات اخرى . وتكون اشارة الدخل في هذه العملية اشارة تبويب اما نبضات الساعة الداخلية فهي تستخدم مصدراً للتوقيت . ومن الواجب عند قياس مدة النبضة فتح بوابة العد عند الحافة المرتفعة للنبضة وغلقها عند الحافة الهابطة للنبضة . كما يمكن أن يكون العكس صحيحاً في حالة النبضات السالبة . فاذا كانت الحافات المرتفعة او الهابطة للنبضات سريعة . (حاددة) مقارنة مع تردد الساعة الداخلية فإن نقطة القدرح في الاحوال كافة تكون غير حرجية . وهناك مفتاح خاص في العدادات الحديثة لتحديد مقدار منسوب الفولتية المؤثرة على فتح وغلق البوابة . كما هو موضح في الشكل (9.14) ومن الطرق المهمة في قياس المدة الزمنية طريقة القياس بتحديد التردد ، وتعتمد على قياس المدة الزمنية بين موجتين ولا تتم هذه العملية بالاعتداد على الحافة المرتفعة او الهابطة وانما تعتمد على قياس المدة

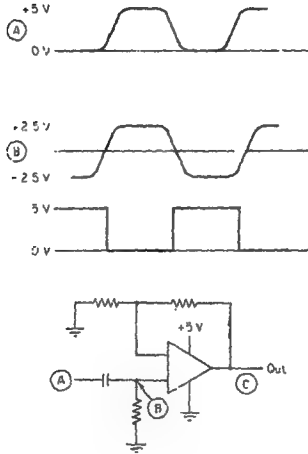


شكل 9.13 ترتيب الدائرة الخاصة بقياسات المدة الزمنية .



شكل 9.14 دوائر ادخال معداد ترددي .

بين نقطة معينة على دورة معينة أيضاً والنقطة نفسها في الدورة التالية . اذ تفتح البوابة عند نقطة معينة موجودة في موجة ادخال وتغلق عند النقطة نفسها في الدورة التي تليها . ويتم عملية القياس بواسطة هذه الطريقة بالآتي : تربط موجة (ac) الى كاشف التقاطع الصفري الذي يولد موجة قرح الى دائرة flip-flop . ولا تتأثر عملية القرح ذات الانحدار المعاكس عند وصول التقاطع الصفري التالي . كما تتأثر بالتقاطع الذي يليه وبذلك نحصل على مدة موجة كاملة أي يتم قرح دائرة flip-flop في بداية كل موجة . ويمكن توضيح هذه الدائرة الموضحة في الشكل 9.15 .



شكل 9.15 كاشف صفري لمعاد تردد والموجات الناتجة عنه .

9.3 اخطاء القياس :

1 - خطأ التبويب :

تعتمد قياسات التردد والزمن بواسطة العداد الالكتروني على عدد من العوامل التي تحدد بدقة الجهاز نفسه . ومن أهم هذه العوامل خطأ التبويب الذي يحدث في قياسات التردد والفترة الزمنية . اذ تقوم البوابة الرئيسية في الفتح والغلق بنبضة المذبذب . ويسمح هذا لاشارة الادخال في المرور خلال البوابة ليتم عدّها بالعداد . ويلاحظ ان نبضة التبويب غير متزامنة مع اشارة الادخال اذ لا توجد علاقة بينها .

يوضح الشكل 9.16 مدة التبويب بواسطة الموجة (جـ) كما تمثل الموجتان (أ) و (ب) اشارة الادخال في علاقة طورية متداخلة مع اشارة التبويب ويلاحظ أنه يتم عد ست نبضات في احدى الحالات في حين تمر خمس نبضات في حالة اخرى الى البوابة ، أي أن هناك فرق ± 1 نبضة في هذا القياس . يكون تأثير خطأ التبويب واضحاً ومؤثراً في قياس الترددات الواطئة فعند قياس تردد 10 هرتز مثلاً ويكون الخطأ ± 1 فهذا يعني وجود خطأ بمقدار يتراوح بـ 10% ولذلك يفضل استخدام الطريقة السابقة التي تعتمد على المدة الزمنية وليس على التردد في قياس الترددات الواطئة .

ويمكن وضع حد فاصل بين استخدام قياسي التردد والمدة الزمنية بالآتي : -

f_e = تردد البلوري او المذبذب في الجهاز .

f_x = تردد اشارة الادخال غير المعروفة .

يكون عدد النبضات الداخلة الى البوابة (العدودة) في قياس المدة الزمنية مساوياً لـ :

$$N_p = \frac{f_e}{f_x}$$

اما في قياس التردد فيكون عدد النبضات في ثانية واحدة هو :

$$N_f = f_x$$

اما الحد الفاصل بين الطريقتين فيحدد بالتردد (f_0) الذي يتساوى فيه العداد ($N_p = N_f$) أي :

$$f_0 = f_c \quad \text{او} \quad \frac{f_c}{f_0} = f_0$$

اذن يجب قياس الترددات الاوطأ من f_0 بوساطة طريقة المدة الزمنية، يجب قياس الترددات الاعلى من f_0 بوساطة طريقة التردد وذلك من اجل خفض تأثير الخطأ ± 1 الناتج من خطأ التنبؤ. اما خطأ الدقة عند التردد f_0 المتسبب عن خطأ التنبؤ ± 1 فهو $\frac{100}{\sqrt{f_0}}$ بالمائة.

1. خطأ القاعدة الزمنية (Time base error)

يسبب الخطأ في القاعدة الزمنية الى حدوث اخطاء في القياس اذ يحدد القاعدة الزمنية في قياسات التردد عملية فتح وغلق البوابة كما تزود النبضات اللازمة لغرض العد. وتشكل اخطاء القاعدة الزمنية خطأ ضبط المذبذب، وخطأ استقرارية البلورة في الفقرات القصيرة او بفترات طويلة.

2. خطأ استقرارية البلورة لفترة قصيرة :-

وسبب هذا الخطأ هو تغير الذبذبة الناتجة من البلورة لفترة محددة نتيجة الحالات العابرة للفولتية. فضلاً عن اسباب اخرى مثل الضربات او الاهتزازات او نتيجة التشويش الكهربائي وغيرها. ويمكن خفض هذه الاخطاء بقياسات التردد وذلك بتنبؤ المعداد لمدة زمنية طويلة (10 ثانية الى 100 ثانية مثلاً) ويكون الرقم المقبول لاستقرارية البلورة في حدود 1 الى 2 من 10^7 جزء.

3. خطأ الاستقرارية لفترة طويلة :

هذا النوع من اصعب الاخطاء وهو يحدد الدقة والتردد وكذلك المدة الزمنية. ويكون هذا الخطأ معتمداً على عمر البلورة وكذلك تآكل البلورة نفسها، ويمكن تقدير هذا التأثير اذ ربما يكون المعدل الابتدائي لتغير تردد البلورة محدود جزءاً واحداً من المليون في اليوم الواحد. وقد يمكن خفض هذا المعدل اذا تم المحافظة على درجة الحرارة عمل البلورة في حدود 50 الى 60 درجة

مثوية ومن اجل توضيح تأثير خطأ الاستقرار لمدّة طويلة على دقة القياس ، نفرض ان ضبط المذبذب قد تم بمحدود جزء واحد من 10^9 وكان تأثير الاستقرار هو جزء واحد من 10^8 في اليوم . كما نفرض ان الضبط قد تم قبل 60 يوماً . اذن تكون الدقة في هذا الوقت اي بعد مضي 60 يوماً هي : $1 \times 10^{-9} + 60 \times 10^{-8} = 6.01 \times 10^{-7}$ أي حوالي 6 اجزاء من 10^7 ومن هذا يلاحظ ان اعلی دقة ممكنة تحصل عند ضبط التردد في وقت اجراء القياس .

4 . خطأ مستوى القدر :

تفتح وتغلق بوابة في حالة قياس التردد او المدة الزمنية بواسطة اشارة الادخال نفسها . وتعتمد دقة الفتح والغلق على الخطأ الحاصل في مستوى نبضة القدر . لذلك يتم تكبير اشارة الادخال أولاً وبعثاً أولاً قبل استخدامها في عمليتي الفتح والغلق والذي يكبر عند تكبير الاشارة نفسها . ويمكن القول بصورة عامة أنه يمكن خفض تأثير اخطاء زمن القدر عند وجود اشارة ادخال عالية المستوى وسريعة الانتقال من مستوى الى آخر .

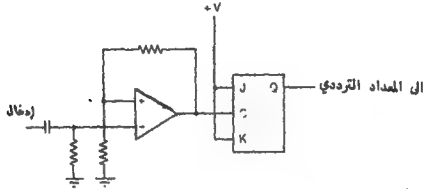
يمكن الحصول على دقة عالية اذا اتبعت المقترحات الآتية : -

- (أ) يمكن خفض تأثير خطأ التبويب وذلك بجعل تردد الموجة المقاسة اعلی اما عند قياس المدة الزمنية فيكون تردد الادخال اقل من $\frac{1}{10}$ إذ يمثل $\frac{1}{10}$ تردد ساعة المعداد .
- (ب) يكون تأثير (الاستقرارية - لدى بعيد) على دقة القياس معتمداً غالباً على الزمن .
- (ج) تتأثر دقة قياس المدة الزمنية بصورة كبيرة بواسطة الحدار اشارة الادخال التي تسيطر على بوابة الاشارة . ويكون للموجة عالية المستوى زمناً سريعاً والتي تضمن الدقة العليا .

9.4 توسيع المدى الترددي للمعداد : -

إن حدود التردد للمعداد الموضح في الشكل 9.1 هو في حدود 100 ميكا هرتز على الرغم من استخدام دوائر منطقية سريعة ودوائر معتمدة اخرى

في تركيب المعداد . وتستخدم عدد من التقنيات في الوقت الحاضر لزيادة المجال الترددي للمعداد . ومن إحدى الطرق طريقة Presaler كما هي موضحة في الشكل 9.16 . وتعتمد هذه الطريقة على قسمة التردد عند الإدخال على 10 وليس لها علاقة بسوق العارضة المرئية أو التيوب أي من البوابات ولا تدخل في عملية إيلاج المعطيات من المزلاج . ولذلك نلاحظ أن تأخر انتشار الإشارة غير ضروري مادام الجهاز يعمل في هذه الطريقة وبأي تردد كان .



الشكل (9.16) غطط لدائرة الإدخال لقياس المدة الزمنية لموجة معينة .

إذا استخدمنا القسمة على 10 مع معداد ترددي بـ 10 ميكاهرتز فيمضي هذا زيادة المدى الترددي للمعداد بمامل 10 أي يمكن قراءة إلى حد 100 ميكاهرتز ، وتتوفر بعض المعدادات التي تستخدم هذه الطريقة لترددات تبلغ 1000 ميكاهرتز بقسمة التردد على 10 أو 100 أي يمكن توسيع المدى الترددي لمعداد 10 ميكاهرتز إلى 1000 ميكاهرتز .

وعلى الرغم من سهولة هذه الطريقة فهناك ضريبة مقابلة يجب دفعها ألا وهي انخفاض دقة المعداد الترددي بالعامل نفسه لزيادة التردد فإذا استخدمنا معداداً 10 ميكاهرتز فيمكن توسيع مدى هذا المعداد إلى 100 أي بمامل 10 فإذا كان المعداد يقرأ إلى أقرب 1 هرتز فمعد ضرب التردد بمامل 10 أي ضرب الأرقام كلها بهذا العامل يقرأ المعداد قيمة التردد وإلى أقرب 10 هرتز أي بانخفاض الدقة بمامل 10 كذلك . ويمكن التغلب على هذه المشكلة باستخدام زمن القاعدة الزمنية أطول . وتبقى هذه المشكلة في الناجية العملية في قياس الترددات العالية (1000 ميكاهرتز مثلاً) وبدقة قليلة (أقل من 1 كيلوهرتز) .

يختصر المعداد الذي يعمل بطريقة Presalor في قياس الترددات العالية (الى حد 1500 ميكاهرتز تقريباً). أما اذا حاولنا قياس الترددات الاعلى من هذا. في استخدام طريقة المزج .

يوضح الشكل 9.17 المعداد الترددي الذي يستخدم المغير الهيدودايني (المزج) ، ويعمل هذا المغير عادة مع معداد 50 ميكاهرتز أو اقل وتم هذه العملية بواسطة مزج اشارة الدخل مع موجة 100 ميكاهرتز ويستخدم حاصل الجمع او الطرح . وعند الحاجة الى استخدام ترددات اعلى من 100 ميكاهرتز فتدخل هذه الموجة الى ثنائي ذي الاستعادة السريعة (STEP RECOVER) والذي يولد بدوره حزمة كبيرة من التوافقيات تبلغ 5000 ميكاهرتز أو اعلى ويمكن اختيار اي تردد بين 100-5000 ميكاهرتز بدائرة رنين خاصة بالتردد المطلوب . وقد لا يؤثر تردد التوافقية المختارة على دقة القياسات .



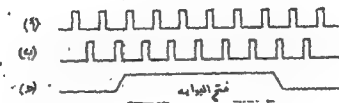
يتم مزج التوافقية المختارة مع اشارة الدخل ويرشح الفرق بينهما ثم يكبر ويزود به المعداد .

وبسبب توفر توافقية معينة كل 100 ميكاهرتز . فيجب ان لا تكون موجة الدخل بتردد اعلى من التوافقية المختارة بأكثر من 50 ميكاهرتز . ولذا يجب ان تكون لدينا معلومات قريبة عن الموجة الداخلة وبمحدود ± 10 ميكاهرتز أو اقل .

لفرض معرفة التوافقية اللازمة لها وللحصول على دقة قياس مناسبة . ويجري ذلك بتقنية قياسية أخرى مثل مقياس الموجة أو المحلل الطيفي للموجة .

وبما أن التوافقية المختارة تضاف أو تطرح من إشارة الدخّل يتوجب على مستخدم الجهاز التعرف على التردد الحقيقي بعملية حسابية بسيطة (أما إضافة أو طرح) .

ويتوفر في الوقت الحاضر بعض أنواع العدادات التي تقوم باختيار التوافقية المطلوبة وكذلك اجراء الحسابات الضرورية وبصورة ذاتية . يوضح الشكل (9.18) المخطط العام لوحدة تعمل على تحويل الترددات . وإلى حد 4000 ميكاهرتز وبصورة ذاتية وتدخل الى معداد 500 ميكاهرتز . تضرب الإشارة الناتجة من العداد وهي 100 ميكاهرتز . باستخدام مضاعف . للتردد الترانزستوري وللحصول على 500 ميكاهرتز . تضخم هذه الإشارة . وتستخدم لسوق ثنائي مضاعف التردد . ثم يؤخذ خرج هذا المضاعف ويرشح للحصول على ترددات 1000 ميكاهرتز و 1.5 و 2 و 2.5 و 3 و 3.5 ألف ميكاهرتز .



الشكل 9.18 خطأ التيوب .

تُغذى إشارة الدخّل الى مكبر الذي يزود بدوره المازج mixer وكاشف المنسوب وعند الكشف عن وجود الإشارة بواسطة كاشف المنسوب ترتب ترددات المزج الستة المحتملة وهي 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 ألف ميكاهرتز تصاعدياً في حين تحدد إشارة الخرج بتردد اقل من 500 ميكاهرتز ، وهذا يحدد ترددي الفرق بين تردد الإشارة الداخلة وتردد المازج ومحدود اقل من 500 ميكاهرتز ومن ثم يرسل هذا الفرق في التردد الى العداد ومن المفيد هنا حساب التأثير على الدقة نتيجة توسيع المدى الترددي للمعداد في كل من نوع prescaler ونوع المزج .

نفرض في حالة **Prescaler** ان تردد الخرج يساوي تردد الادخال مقسوماً على عامل القسمة N . اي من دون فقد أية نبضة اثناء العد . اي يكون تردد الخرج في العارضة يساوي

$$\text{تردد الخرج} = \frac{f_{in}}{N} \quad t$$

ونلاحظ عند ثبوت N أن الدقة تعتمد على زمن التبويب t اي ان دقة معداد نوع **prescaler** تساوي دقة المعداد من دون توسيع . اما في حالة استخدام طريقة تحويل التردد الهيدرودايني حيث تشتق اشارة المزج من ساعة المعداد نفسها . فيكون زمن التبويب عدداً صحيحاً من الدورات نسبة الى ساعة القاعدة الزمنية **time base**

$$\text{زمن التبويب} = \frac{Q}{f_c}$$

اذ يمثل Q عامل القسمة ويمثل f_c تردد ساعة المعداد . ويكون تردد الخرج من محول التردد هو التردد نفسه الداخل الى المعداد f_{in}

$$f_{in} = f_{in}^* \pm N f_c$$

أي تكون قيمة التردد في عارضة المعداد تساوي تردد الادخال الى المعداد مضروباً بزمن القاعدة الزمنية أي .

$$\text{التردد} = f_{in} \left(\frac{Q}{f_n} \right) = \frac{f_{in}^* Q}{f_c} + QN$$

ونلاحظ ان علاقة التردد في الادخال مع تردد العارضة يعتمد على f_c فقط . ونستنتج من هذا ان الدقة في قراءة المعداد لاعلاقة لها مع توسيع المدى الترددي في كلتا الحالتين : حالة **prescaler** وحالة مزج التردد .

9.5 معداد الترددات الواطئة :

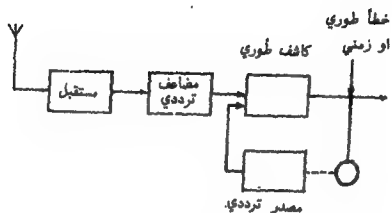
لاحظنا من الفقرات السابقة أن معداد التردد هو جهاز رقمي ذو كفاءة عالية في القياس وخاصة في حساب او قياس الترددات الواطئة وبدقة عالية نسبياً . وهناك مشكلة واحدة تظهر في هذه الحالة (قياس الترددات الواطئة جداً) . فإذا حاولنا قياس إشارة بتردد اقل من 1 هرتز وبدقة 0.01 هرتز ، فسنحتاج الى 100 ثانية اذا استخدم معداد ببوابة ادخال اعتيادية ، ولذلك يفضل في مثل هذه الحالات قياس المدة الزمنية لموجة الدخل ومن ثم حساب التردد من علاقة

$$\text{التردد} = \frac{1}{\text{المدة الزمنية}}$$

ويكون الزمن اللازم لمرض نتائج على العارضة هو المدة الزمنية لدخول الموجة . فمثلاً تكون المدة الزمنية لموجة دخل 1 هرتز هي 1 ثانية في حين تكون مدة الحساب هي 1 ملي ثانية او اقل . أي أن القياس يتضمن المدة الزمنية للموجة زائداً زمن الحساب لهذا يكون احتمال الخطأ كبيراً نسبياً ويمكن تكرار العملية عدد من المرات والحصول على معدل القراءات كما نلاحظ تحسن في قيمة الخطأ عند اخذ الموجة الثانية او الثالثة اما قراءة العارضة فتتمثل بمعدل الحسابات دائماً . لقد اصبح من الواضح ان قياس المدة الزمنية لموجة دخل معينة وبتردد ساعة معينة كذلك ومدى زيادة الدقة نسبة الى قياس التردد لموجة الدخل عند تبويب ثابت .

يوضح الشكل (9.19) مخططاً عاماً لمعداد ترددي يتمكن من قياس المدة الزمنية والتردد لموجة الدخل وبصورة ذاتية واجراء الحسابات اللازمة وعرض النتائج على العارضة والخاصة بالمعداد . ولاحظ من هذا الشكل ان هناك معدادان بكل المعداد الواحد المستخدم في الطريقة الشائعة ، يستخدم احد المعدادين في تجميع تردد الدخل في حين يقوم المعداد الثاني في تجميع الساعة الخاصة بالمعداد . ويبوب المعدادان أنياً بحيث يجمع دورات الدخل في المعداد A في حين تجمع دورات الساعة في المعداد B ويمكن تحديد تردد موجة الدخل من العلاقة الآتية : -

$$\text{التردد} = \frac{\text{المد في A}}{\text{المد في B}}$$



الشكل (9.19) خطط لعداد ترددي لقياس المدة الزمنية .

تم السيطرة على فتح وغلق البوابة بواسطة موجة الدخل او من الساعة الداخلية . فاذا استخدمت الساعة الداخلية فهي تمثل الطريقة الشائعة في القياس . اما اذا تم التحكم في بوابة الدخل بواسطة اشارة الدخل ، فمعنى ذلك اجراء قياس المدة الزمنية .

الاسئلة الفصل التاسع

- 1 - ماهي اجزاء العداد الترددي البسيط .
- 2 - عدد أنواع العداد الترددي المستخدم في قياس التردد والمدة الزمنية .
- 3 - الى أي مدى من الدقة يمكن لعداد ترددي تحديد تردد موجة ذات 450 كيلوهرتز ، باستخدام قاعدة زمنية 1 - ثانية ودقة هذه القاعدة الزمنية في حدود 0.01 بالمائة .
- 4 - كم عدد مراتب العارضة التي يجب أن تكون لعداد له دقة ودرجة وضوح 0.001 بالمائة .
- 5 - ماهي العوامل المؤثرة على تحديد الدقة - درجة الوضوح .
- 6 - ماهي الطرق التي يمكن استخدامها لزيادة المدى الترددي لعداد ترددي وكيف يمكن الحصول عليها دون التأثير على دقة العداد .
- 7 - ماهي المشكلات التي ترافق قياس الاشارات النبضية .
- 8 - ماهي الاخطاء المتوقعة ظهورها في قراءة العداد الترددي وكيف يمكن السيطرة عليها .



مُغَيِّرَاتُ الْأَشَارَةِ

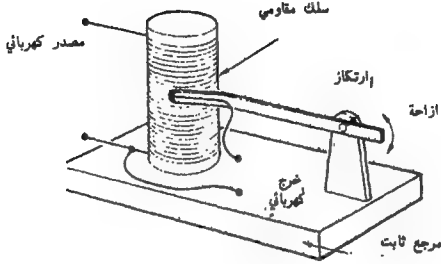
Transducers

10.1 - تعريف :

مغير الإشارة هو جهاز أو عنصر يستخدم لتحويل إشارة الدخل إلى إشارة خرج وبهيئة مختلفة . أي هو الجهاز الذي يحول الحركة الميكانيكية مثلا إلى إشارة كهربائية أو بما يعرف مولد فولتية السرعة *Tachogenerator* . وبالعكس يمكن تغير الإشارة الكهربائية إلى حركة ميكانيكية كما في حالة الكلفانوميتر *galvanmeter* وقد أصبح شائعا في الناحية العملية استخدام هذا المصطلح بصورة عامة على الأجهزة التي تحول الظواهر الفيزيائية إلى إشارات كهربائية وقد تحدث عملية التحويل أو التغير في كثير من الحالات خلال مرحلة وسيطة ، مثال ذلك ، عند قياس الضغط ، تحول هذه الظاهرة إلى حركة ميكانيكية . أولاً ومن ثم تحول إلى إشارة كهربائية ويمكن الحصول على عملية التحويل الميكانيكية بأحدى الطريقتين الآتيتين .

1 (أجهزة المرجع الثابت :

إذ يربط أحد أجزاء مغير الإشارة في هذا النوع إلى نقطة ثابتة أو سطح ثابت أما الجزء الآخر فينتصل إلى المتغير المراد قياسه أما بصورة مباشرة أو خلال نظام ميكانيكي خاص ، كما هو موضح في الشكل (10.1) أما إذا كانت الحركة صغيرة فربما تحتاج في بعض الاوقات إلى تضخيم هذه الإشارة سواء كانت ميكانيكية أو كهربائية ، وذلك للحصول على حساسية مناسبة .

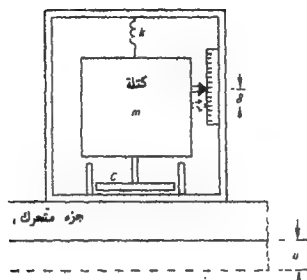


الشكل 10.1 مغير إشارة نوع المرجع الثابت

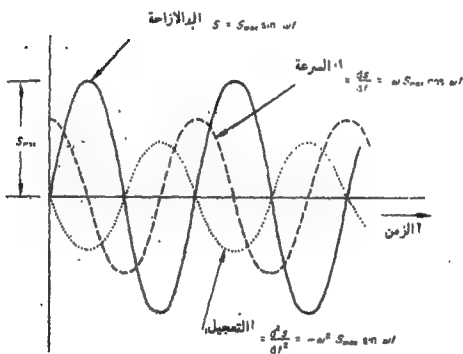
2) جهاز النابض - الكتلي :

يوجد في هذا النوع من مغيرات الإشارة جزءاً واحداً أو نقطة واحدة مثبتة ، وترتبط هذه إلى الجهة الثانية من مغير الإشارة المتحرك والمربوط بواسطة نابض إلى هذه النقطة الثابتة فمعد حدوث حركة خارجية تؤدي إلى حركة كتلة المغير (m) بإزاحة مقدارها (x) كما هو موضح في الشكل (10.2) وتعتمد كمية هذه الإزاحة على مقدار الكتلة وعلى شدة النابض (k) . أما مقدار التوهين (damping) فتعتمد على الموهن (c) إن فكرة هذا الجهاز على بساطتها تعد من الأجهزة الأساسية في قياس الحركة والتذبذب في أغلب أنواع العربات المتحركة . وهي ذات حساسية ودقة عاليتين ويمكن الحصول على مواصفات هذا النوع من المغير بملاحظة الشكل 10.3 والذي يوضح مقدار الإزاحة والتحميل الحاصل في الحركة كما يمكن إعطاؤها بالعلاقات الآتية .

$$\begin{aligned} \text{اعلى تحميل} &= \frac{\omega^2 \delta_{\max}}{g} \quad \text{m/s}^2 \\ &= \frac{\omega^2 \delta_{\max}}{g} \end{aligned}$$



الشكل 10.2 مغير إشارة نوع النابض - الكتلي



الشكل 10.3 علاقات الحركة التذبذبية .

10.2 انواع مغيرات الاشارة :

يمكن تصنيف مغيرات الاشارة الى عدد من الاصناف اما بالاعتاد على طريقة عملها او على وظيفتها في قياس المتغيرات مثل الازاحة او التمجيل . وسنحاول الأخذ بالمبدأ الاول وذلك بالاعتاد على طريقة عمل المغير . وفي حالة فهم هذا المبدأ فيمكن تطبيق اي نوع منها في محلها المناسب وقياس المتغير المطلوب .

1 - مغيرات الاشارة المعتمد على تغيير مقاومة :

إن فكرة هذا النوع من المغيرات يعتمد على تغيير في مقاومة تربط الى مقياس كهربائي انواع المغيرات على الرغم من عدم انتشارها بصورة واسعة في الناحية العملية . يوضح الشكل 10.4 أساس عمل هذا الجهاز .



الشكل 10.4 مغير اشارة يعتمد على تغيير قيمة مقاومة .

ويستخدم هذا الجهاز لقياس الموضع ، ويحتاج الى نقطة توصيل متحركة (منزلة) على مقاومة وتتصل النقطة بالجزء المتحرك او المزاح والمراد قياس وضعه او ازاحته .

فاذا تغير موضع النقطة المتحرك نتيجة تغيير الازاحة يؤدي ذلك الى اختلاف قيمة المقاومة وبالتالي الى تغيير قيمة التيار . فاذا ربط مقياس تيار في الدائرة وقسمت لوحة قراءته نسبة الى المواضع المختلفة للنقطة المتحركة فيمكن بذلك تقدير الموضع نسبياً لاية حركة كانت . ويجب ان تكون فولتية المصدر مستقرة لاجل الحصول على دقة ملائمة لعمل هذا الجهاز .

اما النقطة الثانية والمهمة أيضاً في حالة قياس الحركة الموجبة والسالبة نلاحظ مرور التيار في الدائرة (والمقياس) في كافة الاحوال حتى عند نقطة المنتصف (الصفر).

2 - مغير الاشارة المعتمد على تجزئة الفولتية :

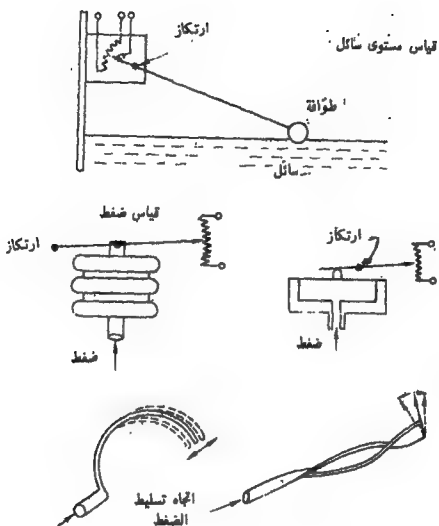
يؤدي تغير المقاومة المتغير الى تغير التيار المار بها تبعاً للحركة المقاسة وتستخدم مقاومات لتجزئة الفولتية في خرج هذا النوع كما موضح في الشكل 10.5 وهو بصورة عامة اكثر ملائمة كما يجب ان يزود هذا الجهاز بمصدر تيار ثابت وتأخذ قراءة هذا المخرج بمقياس عالي الممانعة وذلك لجعل تأثير التعميل قليلاً جداً ويمكن اهماله . ويلاحظ ان المتغير المراد قياسه يربط بطريقة ميكانيكية الى النقطة المنزلقة لمجزء الفولتية اذ تكون الفولتية الناتجة من ذلك معتمدة على الازاحة التي تنتجها النقطة المنزلقة على مجزء الفولتية .



الشكل 10.5 مغير اشارة يعتمد على موضع النقطة المتحركة في مجزء الفولتية

وبما ان مجزء الفولتية المقاوم يستعمل لتحويل الازاحة الميكانيكية الى ما يناسبها من اشارة كهربائية لذلك يمكن قياس عدد من الكميات الفيزيائية مثل القوى ، الضغط ودرجة الرطوبة الخ وذلك باستخدام مجزء الفولتية ذي المرجع الثابت الذي يوضع بين الكمية المراد قياسها والذراع والذي يحرك بدوره النقطة المنزلقة وهذا ما نلاحظه في الشكل 10.6 الذي يوضح بعض الطرق والتقنيات المستخدمة لتحويل الكميات الفيزيائية الى ازاحات مناسبة لتحريك النقطة المنزلقة على المقاومة .

نحتاج في الحصول على قياسات السرعة او التمعيل في مغير الاشارة نوع المرجع الثابت الى فولتية خرج تتناسب مع الازاحة ، ومع المشتقة الاولى للازاحة



الشكل 10.6 انواع من مغيرات الاشارة الميكانيكية

للحصول على قياس السرعة ، وعلى فولتية تتناسب مع المشتقة الثانية للحصول على قياس التميعيل . وتتم عملية التفاضل او ايجاد المشتقة بدوائر كهربائية ، كما يمكن الحصول على قياس للتميعيل من مغير الاشارة نوع Seismic potentiometric transducer شرط ان يكون التردد الرنيني الميكانيكي له $\omega \gg \omega_0$ اكبر كثيراً من تردد التميعيل (ω) أي .

$$0.2 < \frac{\omega}{\omega_0}$$

تستخدم مقاومة متغيرة نوع السلك الملفوف wire wound في كل من نوعي مغير الإشارة وهما نوع المقاومة المتغيرة ومجزئ الفولتية المقاومي كما يمكن استخدام بعض الانواع الاخرى مثل شريحة الكاربون المرسب (deposited carbon film) او شريحة البلاتين او بعض الدلائل الموصلة .

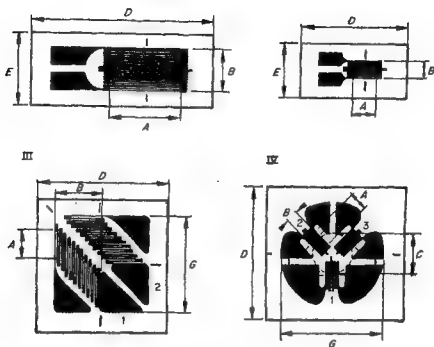
ويعتمد عمر او مدة تشغيل هذه الانواع من مغيرات الإشارة على التوصيل بين النقطة المتحركة والمقاومة ، وكذلك على سرعة تأكلها ، كما يتحدد تردد عملها ببضع دورات ازاحية في الثانية الواحدة . ويمكن تقدير عمر تشغيل هذه المغيرات بجوالي 3×10^6 دورة عمل ، وهي بصورة عامة رخيصة الثمن وسهلة الاستعمال والربط . ويجب الملاحظة عند قياس الازاحة التغلب على قوة احتكاك النقطة المنزلقة والتي قد تؤثر على قيمة هذه الازاحة .

10.3 مقاومة مقياس الاجهاد : (Resistance strain Gauge)

تتوفر مجموعة كبيرة ومهمة من مغيرات الإشارة التي تعتمد في عملها على تغيير مقاومة بمركبة ميكانيكية .

ولهذا يجب معرفة اسس وتطبيقات هذه الانواع من مغيرات الإشارة . اذا سلطت قوة سحب الى سلك كهربائي بطول معين فسيؤدي هذا الى زيادة في طول السلك بمقدار (ΔL) ونلاحظ ان الزيادة في الطول تعتمد على الحمل المسلط اذا تجنب حدود المرونة الخاصة بمعدن السلك ، كما يلاحظ ان السلك يعود الى موضعه الاصيل اذا ازيلت القوة المسلطة عليه ويتبع الزيادة في طول السلك عادة انخفاض في قطر السلك نفسه وبما ان مقاومة السلك تساوي $(\frac{\rho L}{A})$ اذا تمثل ρ مقاومة المعدن ، طول السلك و A = مساحة المقطع العرضي للسلك . وتساهم الزيادة في الطول وكذلك النقصان في المقطع العرضي زيادة في قيمة مقاومة السلك المسحوب .

تتوفر انواع من مقاييس الاجهاد Straingauges بشكل سلك ملفوف لتقليل من الطول الذي يأخذه السلك ويكون سمكه حوالي 0.025 ملم مربع ومثبت عادة على ورقة او عازل اخر . ويوضح 10.7 انواعاً من مقاييس الاجهاد ملفوفة بأشكال مختلفة وتصنع عادة بتقنيات تشبه الدوائر المطبوعة . ويعتمد حجم المقياس على تطبيقاته المختلفة وعلى الرغم من ذلك فهي تصنع بأشكال معينة ملفوفة وبأبعاد 3 ملم الى 150 ملم وتتراوح قيمتها بين 120 الى 600 اوم .



الشكل 10.7 انواع مقاومة سلك الاجهاد الملفوف .

عامل المقياس :

تعرف حساسية مقياس الاجهاد بدلالة تعتمد على خاصية معينة تدعى بعامل المقياس K ويعرف هذا العامل كذلك بتغير المقاومة لطول معين من السلك نسبة للتغير الحاصل في طول السلك نفسه اي :

$$K \text{ عامل المقياس} = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}$$

اذ تمثل K = عامل المقياس
 R = مقاومة سلاح المقياس الاعتيادية
 ΔR = التغير في مقاومة سلك المقياس

l = طول السلك (من دون شد)
 Δl = التغير في طول السلك

فاذا عرفت النسبة $\frac{\Delta l}{l}$ على أنها الاجهاد σ فيمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي:

$$R = \frac{\Delta R/R}{\sigma}$$

ويمكن حساب التغير في المقاومة R لموصل معين بطول l باستخدام المعادلة الخاصة في حساب مقاومة موصل متجانس المقطع كالآتي:

$$R = \rho \frac{\text{الطول}}{\text{مساحة المقطع}} = \frac{\rho \times l}{\left(\frac{\pi}{4}\right) d^2}$$

إذ أن
 ρ = المقاومة النسبية لمادة الموصل
 l = طول الموصل
 d = قطر الموصل

نفرض أن الزيادة في طول السلك نتيجة تليط الشد عليه هي Δl وكذلك النقصان في القطر الحاصل نتيجة هذا الشد هو Δd . إذن تكون المقاومة أثناء الشد هي R_2 ويمكن التعبير عنها كالآتي:

$$R_2 = \rho \left(\frac{l + \Delta l}{\left(\frac{\pi}{4}\right) (d - \Delta d)^2} \right) = \frac{\rho \times l \left(1 + \frac{\Delta l}{l}\right)}{\frac{\pi}{4} d^2 \left(1 - 2 \frac{\Delta d}{d}\right)}$$

ويمكن تبسيط هذه المعادلة بفرض النسبة $\mu = \frac{\Delta d/d}{\Delta l/l}$ هو ما يعرف بعامل بوزن Poisson's وينتج عن ذلك أن:

$$R_g = \rho \frac{1}{\frac{\pi}{4} d^2} \left(\frac{1 + \frac{\Delta l}{l}}{1 - 2\mu \frac{\Delta l}{l}} \right)$$

والتي يمكن تبسيطها الى

$$R_g = \rho \frac{1}{\frac{\pi}{4} d^2} \left(\frac{1 + \Delta l/l}{1 - 2\mu \Delta l/l} \right)$$

ويمكن التعبير عن الزيادة في مقاومة الموصل او السلك مقارنة بالزيادة في الطول l بعامل المقياس K اي أن

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = 1 + 2\mu$$

واما قيمة عامل poisson's لأغلب المعادن فتتراوح بين 0.25 و 0.35 اذن تتراوح قيمة عامل المقياس بين 1.5 الى 1.7 .

تكون الحساسية العالية مرغوبة في معظم تطبيقات مقياس الاجهاد وهذا يعني وجود تغير عال في مقاومة السلك التي يمكن قياسها بسهولة مقارنة بالتغير القليل في المقاومة فمثلاً تكون في قيمة هذا العامل في اسلاك سبيكة النحاس - النيكل في حدود 1.9 الى 2.1 في حين ترتفع هذه القيمة في سبائك الحديد - الكروم والالنيوم وكذلك الحديد - النيكل الكروم الى حدود 2.8 الى 3.5 .

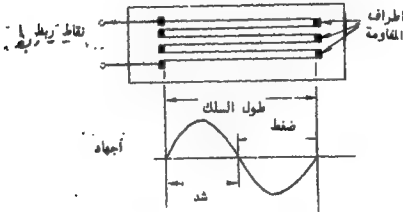
10.4 تأثير الاهتزاز ودرجة الحرارة على عمل مقياس الاجهاد :

نظراً لعمل مغبرات الاشارة لمدة طويلة وفي ظروف حركية متغيرة في الناحية العملية فهناك بعض العوامل الخارجية التي قد تؤثر عليها ومن أهم هذه الامور

هي :

1) الحركة الاهتزازية :

عند الحاجة الى استخدام مقياس الاجهاد في ظروف حركية مثلاً لقياس حركة تذبذبية او اهتزاز معين فيجب أخذ الاستجابة الترددية بنظر الاعتبار فاذا كان طول موجة التذبذب مساوياً لطول السلك ، فيحدث خطأ عال نسبياً . وهي اسوأ حالة اذ يكون معدل تأثير القوى وقيمة الحرج مساوياً للصفر . لاحظ الشكل (10.8) . اما اذا ازداد التردد عن هذه النقطة الحرجة فسنلاحظ رجوع الحرج مرة ثانية ولكن ربما لا تكون لها علاقة مباشرة مع القيمة المراد قياسها .



الشكل (10.8) اسوأ حالة للقياس عند تساوي موجة التردد المقاس مع طول السلك .

2) تأثيرات درجة الحرارة :

درجة الحرارة هي العامل الآخر الذي يؤثر على اداء مقاومة مقياس الاجهاد ويمكن تلخيص هذه التأثيرات كالآتي :

- أ) يكون لمقاومة فتيلة المقياس (gauge filament) معامل حراري معين . وقد تكون عالية نسبياً (50.p.p.m) لكل درجة حرارة لبيكية النحاس - النيكل) وهي قيمة لا يمكن اهمالها .
- ب) اما التأثير الثاني لدرجة الحرارة فينتج عن وجود اجزاء غريبة في تكوين سلك المقياس .

جـ) ينتج التأثير الثالث لدرجة الحرارة عن الفرق بين المعاملات الحرارية التابعة للمعادن المكونة للجسم المراد قياسه وبين مقاومة سلك المقياس فإذا حصل تمدد في الجسم المراد قياسه (حرارياً) بصورة أكبر من سلك المقياس فيكون تأثير ذلك مشابهاً لتسليط قوى ضاغطة على السلك ويعرف هذا بالاجهاد الظاهري .

ويمكن اتباع إحدى الطرق الآتية في التعويض عن تأثير درجة الحرارة وهي :
أ) استخدام مقاييس ذات تعويض ذاتي ، يكون لمعدن فتيلتها معامل حراري للتمدد مساوٍ تقريباً لمعامل التمدد الحراري للجسم . وتتوفر بمجاميع مختلفة لأنواع المقاييس مثل المجموعة الفولاذية والمجموعة النحاسية ومجموعة الألمنيوم .

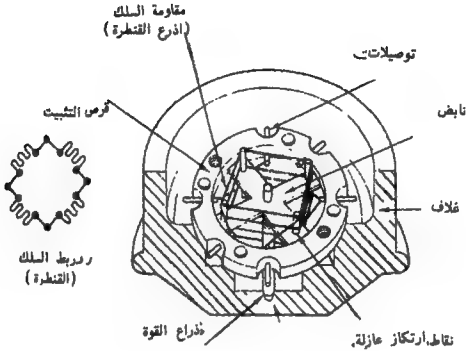
ب) استخدام مقاييس غير فاعلة في دوائر القياس .
جـ) إضافة فتيلة تعويض في تركيب المقياس من أجل التعويض الحراري .

10.5 تطبيقات مقياس الاجهاد : -

لا يمكن حصر تطبيقات مقياس سلك الاجهاد في حدود معينة ولكن يمكن تلخيص تطبيقاته المباشرة المتضمن قياس الشد والاجهاد في التركيبات الجاهزة مثل هيكل الطائرة والشد في قاطرات القطار والقناطر والرافعات والكونكريت المسلح وبقية الابنية .

1 - مغزوات الاشارة ذات مقياس الاجهاد المقاومي :

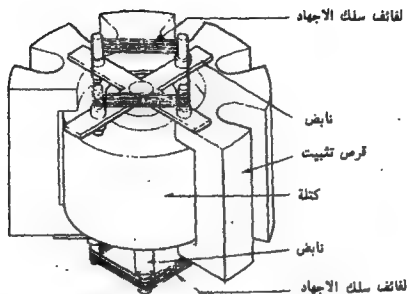
يحتاج مغزوات الاشارة ذات مقياس الاجهاد في عمله الى تحويل الظاهرة موضع الدراسة الى الاجهاد الميكانيكي أولاً . وذلك يربط المقياس بعنصر مرن ضمن مغزوات الاشارة والذي تسلط عليه قوة تتناسب مع التغير الحاصل في الظاهرة المقاسة . فإذا كانت القوة المقاسة صغيرة مثل قياس تغير بسيط في ضغط فان استخدام نظام سلك مقياس الاجهاد الذي سيعمل كعنصر مرن يساعد في الحصول على قياس لهذا التغير البسيط . يوضح الشكل 10.9 كيفية تركيب هذا النوع من المقاييس ، التي بإمكانها قياس قيم مختلفة من الضغط وذلك بتغيير مساحة او سمك الغشاء المعدني الذي يحرك الذراع (rod) .



الشكل 10.9 مغير إشارة يستخدم لقياس الضغط .

تحتوي هذه التركيبة على أربعة مقاييس اجهاد مقاومين اثنين منها ثابتي القيمة في حين تتغير قيم المقاومتين الآخرين عند تغير القوة المسلطة على العنصر النابض (spring) وتربط مقاييس الاجهاد الاربعة بشكل قنطرة وينستون وتربط بعض المقاومات الصغيرة الاضافية الى اذرع القنطرة وذلك من اجل الحصول على توازن القنطرة في حالة انعدام الحمل ، كما يجري التعويض عن تأثير درجة الحرارة والضغط وتجرى اختبارات دقة المقاييس بصورة عامة عند درجات حرارية متعددة وظروف اخرى يشمل أن يتعرض لها مغير الإشارة في الناحية العملية ، كما يتم تغليف وحدة التحسس بغلاف محكم بعد تغليتها من الهواء او اضافة غاز الهيليوم الجاف . وتجرى عملية التأكد من دقة الجهاز عامة في كل مرحلة من مراحل التصنيع .

لا يقتصر استعمال مغيرات الإشارة ذات مقاييس الشد لفرض قياس الضغط فقط اذ يوضح الشكل 10.10 نموذجاً عملياً لتركيبة مقياس التمدد .



الشكل 10.10 مغير إشارة لقياس التجهيل .

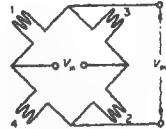
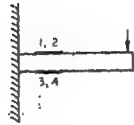
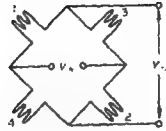
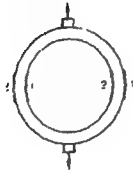
وما دام تحويل عدد كبير من الظواهر الفيزيائية الى قوة متذبذبة ممكناً ،
لذلك يمكن ربط احد أنواع مقاييس الشد الى مغير إشارة لقياس الخواص
المطلوبة مثل الوزن ، ودرجة الحرارة ودرجة الرطوبة وغيرها .

كما لا يقتصر استخدام مقاييس الاجهاد في تركيب مغيرات الإشارة فقط
باستخدام المقاييس المربوطة او المعلقة بل يتعدى ذلك الى المقاييس غير المربوطة
ويوضح الشكل 10.11 مثلاً لقياس القدرة كما يوضح الشكل 10.12 كيفية
قياس العزم .

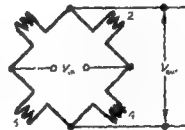
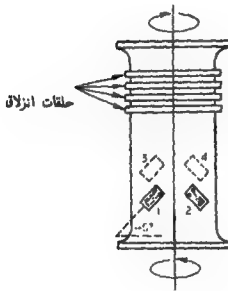
2 . مغيرات الإشارة المعتمدة على تغيير المقاومة :

مقياس درجة الحرارة المقاوم : تملك بعض المعادن عاملاً حرارياً عالياً
للمقاومة (α) مادامت المقاومة R_T للمعدن عند درجة حرارة T تتغير طبقاً
للملاقة

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T)$$



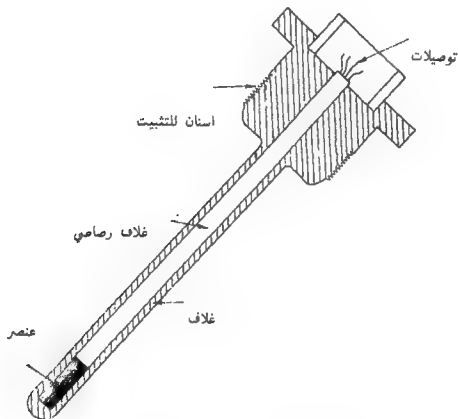
الشكل 10.11 مغير إشارة يستخدم سلك الاجهاد لقياس قوة ميكانيكية .



الشكل (10.12) مغير إشارة يستخدم سلك الاجهاد لقياس عزم محوري .

إذ تمثل R_0 قيمة المقاومة عند درجة حرارة تساوي صفر . ويمكن الاستفادة من هذه الخاصية للقياس درجة الحرارة . وتستخدم مقاومة سلك البلاتين عادة في صناعة مقياس درجة الحرارة المقاومي ، الذي يتكون بصيغة مشابهة لمقياس الشد المقاومي .

يوضح عنصر المقاومة بشكل معين يشبه ما هو موضح في الشكل (10.13) .



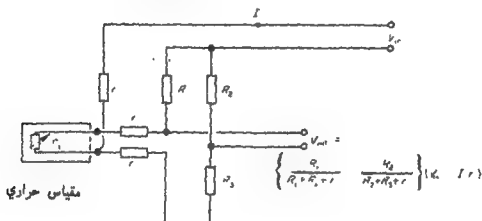
ج ١ الشكل 10.13 مقياس حراري يعتمد على مقاومة البلاتين .

تكون مقاومة مقياس الحرارة ذات دقة عالية وتقارن عادة مع دقة المقاومات العالمية القياسية ويمكن استخدامها لمقارنة درجات الحرارة وفي حدود 150 الى 1100 درجة حرارة مطلقة (كلفن) . أما استخدامها الرئيس لها في المختبرات هو قياس الدرجات الحرارية الدقيقة . ومع ذلك ربما نحتاج في بعض التطبيقات الصناعية مقاييس حرارية تعتمد على التغير في مقاومة البلاتين اذ تعطي مثل

هذه المقاييس تغيراً في قيمة مقاومتها يقدر بـ 2.39 عند تغير درجة الحرارة من صفر إلى 100 درجة مئوية وتكون مثل هذه الأنواع من ناحية أخرى مرتفعة الثمن وسهلة الكسر ويتولد عنها أخطاء في القياس إذا أُهمل استخدامها ، كما يكون زمن استجابتها طويلاً نسبياً (0.5 إلى 10 ثانية) مقارنة مع مقياس الحرارة من نوع الاقتران الحراري .

يمكن قياس التغير في مقاومة المقياس الحراري بواسطة إحدى الطرائق الآتية :

أ) الاعتماد على دائرة قنطرة وينستون كما هو موضح في الشكل (10.14) التي تعمل على إحدى الصيغتين ، الموازنة أو عدم الموازنة .



الشكل 10.14 قنطرة وينستون لقياس مقاومة المقياس للشكل 11.13

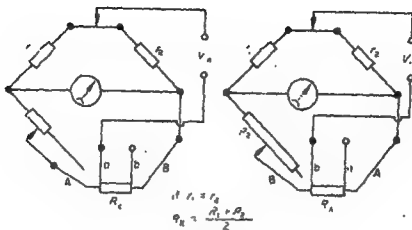
ب) تسليط مصدر تيار ثابت أو مصدر فولتية ثابت وتسجل قراءة الفولتية أو التيار عند تغيير درجة الحرارة .

جـ) استخدام قنطرة سميث . لاحظ الشكل 10.15 .

د) استخدام قنطرة مللر لاحظ الشكل 11.16 .

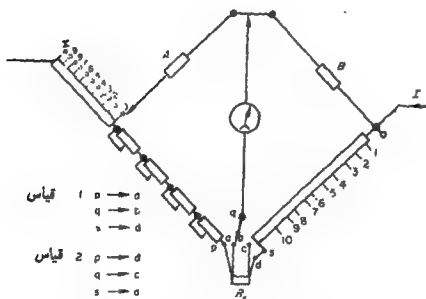
هـ) استخدام قنطرة الحث المقترن الموضح في الشكل 10.17 .

يلاحظ من الطرق والاشكال المذكورة استخدام ثلاث أو أربع نهايات توصيل لربط العنصر المقاومي والغاية من هذه التوصيلات المتعددة إزالة تأثير مقاومة الاسلاك والتوصيلات الاخرى من قراءة المقاييس . وتعد القناطر الثلاث ، سميث

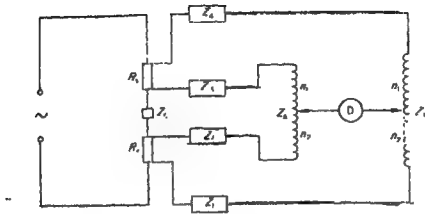


دائرة القياس 1 دائرة قياس 2
 تتم عملية القياس بخطوتين لازالة تأثير التوصيلات الخارجية

الشكل (10.15) استخدام قنطرة سميث لاجراء العلاقة الحرارية



الشكل (10.16) استخدام قنطرة ملر في قراءة درجة حرارة .



الشكل 10.17 قنطرة الحث المتوازن

وملر وقنطرة الاقتران الحثي المباشر ذات دقة عالية يمكن التحسس بتغيرات حرارية قليلة تصل الى 0.0001 درجة مئوية ولذلك يقتصر استخدامها على قياس مقاومات التغيرات القياسية عالية الدقة .

10.6 مقياس سرعة الهواء والغازات : Anemometer

يمكن استخدام هذا النوع من المقاييس والموضح في الشكل (10.18) لقياس سرعة الهواء ويتكون مغير الإشارة هذا من مقاومة سلك مصنوع من التنكستن او من سبيكة البلاتين الذي يمر خلاله تيار كهربائي من مصدر تيار ثابت خارجي . وتكون قيمة التيار الكهربائي كافية لرفع درجة حرارة السلك .

تتمدد مقاومة هذا السلك على سرعة الهواء الذي يخفّض من درجة حرارة السلك وبالتالي تغير مقاومته ، واختلاف هبوط الفولتية عبر نهايتيه ويمكن ملاحظة هذا التغير وقياسه ايضاً ، عند تسليط فولتية الهبوط هذه الى جهاز الرسم الالكتروني او الى جهاز تسجيل الموجات . وبذلك نحصل على تسجيل لسرعة وتغيرات الهواء المار حول السلك .

يكون السلك الحار صغيراً بطول (1 ملي متر وبقطر 0.1 ملي متر) . وهو قابل الاستجابة للتغيرات السريعة في كمية او سرعة الهواء . ويمكن الحصول على سرعة استجابة عالية باستخدام ربط لا يتغير بدرجة الحرارة كها . هو موضع في

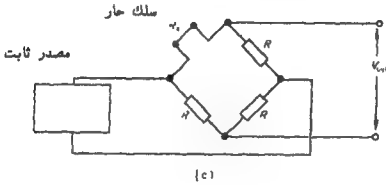
(أ)



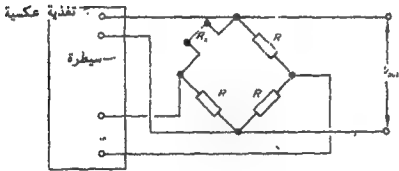
(ب)



(ج)



(د)



الشكل 10.18 استخدام السلك الحار في قياس سرعة الرياح والدوائر التابعة له .

(أ) محس القياس

(ب) دائرة قياس بسيطة

(ج) صيغة بديلة لمصدر التيار الثابت

(د) القياس عند نبوت درجة الحرارة .

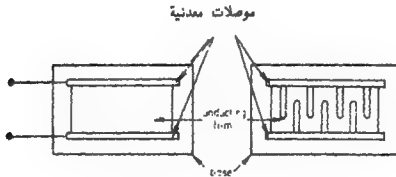
الشكل (10.18 د) اذ تستخدم وحدة سيطرة مع مضخم التغذية العكسية (Feed back amplifier) للتعويض عن تغيرات مقاومة السلك الحار (الناجمة من سريان السوائل) وذلك بتغيير مستوى الدخل للقطرة وضبط مقاومة السلك الحار بقيمة ابتدائية. وبذلك تتغير فولتية المخرج بصورة تتناسب مع سريان الهواء او اي غاز يحيط بالسلك الحار.

مقاييس درجة الرطوبة :

الرطوبة هي مقدار كمية بخار الماء الموجود في غاز معين ويمكن وصفه بعدد من الطرق المختلفة. ولكن اكثر الاوصاف شيوعا هي تسمية الرطوبة النسبية وتعرف بأنها نسبة ضغط بخار الماء الموجود في الغاز الى ضغط بخار الماء المطلوب لتشبع الغاز نفسه عند درجة حرارة ثابتة ويطلق عن هذه النسبة بنسبة مئوية وهي تعتمد على درجة الحرارة كذلك.

يمكن تصنيف مقاييس درجة الرطوبة المقاومة باعتبارها على احد النوعين الآتيين :

- ١) يملك النوع الاول عنصر تحسس مقاومي ، تتغير مقاومته عند تغيير الرطوبة المحيطة به ويتكون العنصر المقاومي من خليط من ملح hygroscopic مثل كلوريد الليثيوم والكربون ، ويوضع عادة مادة عازلة بين الاقطاب المعدنية كما موضح في الشكل 10.19 .



الشكل 10.19 مغير إشارة للتحسس بكمية الرطوبة .

٢) اما النوع الثاني من مقاييس الرطوبة المقاومي فيعتمد على تغيير طول السلك المقاومي نتيجة التغير في الرطوبة وهو يتكون من شعر بشري او شريحة من الانسجة الحيوانية (gut) ويستخدم لتشغيل بحس الازاحة الذي يمكن أن يكون من نوع الجهد او من نوع مقياس الشد .

10.7 اجهزة التحسس الضوئي :

تتغير توصيلية الخلية الكهروضوئية اعتماداً على تغيرات شدة الضوء المسلطة عليها . وهو تتكون اما من طبقة معدنية رقيقة مثل كبريتات الرصاص او من مادة البلورة الاحادي مثل الجرمانيوم المضاف اليه بعض الشوائب او كبريتات الكاديوم ، توضع هذه الطبقة الرقيقة بين نهايتي توصيل (التي يربط بها الاسلاك) كما تثبت على لوحة زجاجية . وتربط الخلية الضوئية وتستخدم في الدوائر الكهربائية مثلها في ذلك مقياس السلك الحار .

الشكل 10.18 (ب) (ج) وبذلك يمكن الحصول على اشارات تعتمد على شدة الضوء . ومن اجل الحصول على مغير اشارة يعمل بهذه الطريقة يجب ان يكون هناك وسطاً يقدم بتحويل شدة الاضاءة الساقطة على الخلية الضوئية .

10.8 مغيرات الاشارة الكهرومغناطيسية :

(Electromagnetic Transducer)

تكون هذه الانواع من مغيرات الاشارة بصورة عامة ، ذاتية التوليد اي لا تحتاج الى مصدر خارجي . وتتولد فولتية الخرج بحركة مجال الفيض المغناطيسي المعتمد على ملف النظام ويمكن الحصول على الفيض المغناطيسي عادة مي قطعة حديد مغناطيسية ، في حين يكون الملف اسطوانياً وذو لب هوائي أو ملفوف على لب من الحديد السليكوني .

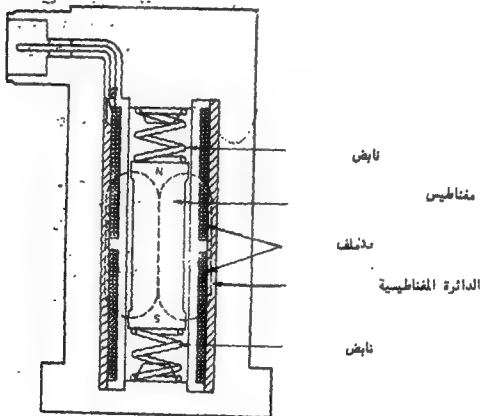
1. مغير اشارة السرعة الخطية :

يتكون ابط انواع مغيرات الاشارة الكهرومغناطيسية من قطعة ثابتة ومتصلة بمحور طليق يتحرك داخل ملف اسطواني كما هو موضح في الشكل (10.20) .

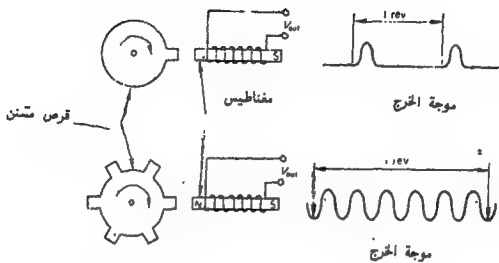


الشكل 10.20 مغو إشارة خطي كهرومغناطيسي .

تتولد فولتية عند طرفي الملف عند حركة مجموعة المحور الطليق والقطعة المغناطيسية ويتناسب اتساع الفولتية المولدة مع سرعة الحركة . بوضع الشكل (10.21) بعض التطورات في هذا النوع اذا ربطت القطعة المغناطيسية بين نابضين ، وثبتت المجموعة على حلقات ذات عامل احتكاك واطيء ، فإذا ربط مثل هذا النوع من مغيرات الإشارة الى جسم متذبذب ويتردد يزيد عن التردد الرنيني الطبيعي لمغو الإشارة ، فيبدو المغناطيس ثابتاً في حله في حين يتذبذب الملف حوله ، مولداً فولتية خرج يتناسب اتساعها مع قيمة التذبذب (شدته) ويتردد يساوي تردد الحركة التذبذبية نفسها بوضع الشكل (10.22) علاقة الازاحة الهيبيية مع التمجيل .



الشكل 10.21 مغو إشارة كهرومغناطيس لقياس التذبذب -



الشكل 10.22 عمل مقياس السرعة ذو القرص المتناهي.

وهناك بعض الامثلة يكون الملف فيها هو الجزء المتحرك كما في مضخم الصوت اذ يتحرك الملف حركة خطية ، وكذلك اجهزة قياس الملف المتحرك اذ تكون الحركة فيها دورانية .

2 . الاجهزة الزاوية :

لقد اصبح استخدام مغنرات الاشارة في تحديد الحركة الزاوية منتشراً بصورة واسعة من مستويات عديدة . ويقع ضمن هذا النوع اجهزة متعددة مثل تكويمتر dc أو غيره الذي يكون المجال المغناطيسي للجزء الساكن فيه متولداً نتيجة وجود المغناطيسية الثابتة أو من مجال الاثارة الناتج عن مرور تيار خلال ملف الاثارة ، في حين تبقى لفيفة الجزء الدوار بالشكل الموجود في مولدة dc اي تربط الى الموحد Commutator . وتكون فولتية الخرج في التكويمتر متناسبة مع سرعة الدوران حوالي 5 فولت لكل 1000 دورة في الدقيقة عند استخدام نوع المغناطيسية الثابتة وترتفع الى ثلاثة اضعاف ذلك عند استخدام ملف الاثارة . وفي كلتا الحالتين تجب ملاحظة قطبية الفولتية المعتمدة على اتجاه الدوران .

اذا احتوى الجزء الدوار على مجال مغناطيسي ثابت (ناتج عن قطعة المغناطيس) وينتج عن تقاطع هذا المجال مع ملفات الجزء الساكن فولتية ac في

نهايات الجزء الساكن ويكون اتساع هذه الفولتية وترددتها متناسبين مع سرعة الجزء الدوار . ويكون مفيداً في بعض التطبيقات تغيير التردد بدلاً من مستوى الفولتية . وسبب ذلك أن التردد لا يتغير بتغير ممانعة الدائرة المربوطة بها . كما ان التردد لا يتأثر بزيادة الحمل أو تأثيرات درجة الحرارة .

10.9 مقياس السرعة باستخدام الدوار المسنن :

تعد مقاييس السرعة المعتمدة على هذه الفكرة من أكثر الأنواع انتشاراً لقياس التردد والسرعة الزاوية . ويتألف الجهاز المذكور من جزء دوار مسنن مصنوع من مادة (الفيرومغناطيسية) ويثبت ملف ساكن الحركة ذو لب حديدي ممغنط قرب محيط الدوار المسنن لنقل عدد النبضات الناتجة من حركة الدوار في الثانية الواحدة . يوضح الشكل 10.22 طريقة عمل مثل مغير الإشارة هذا . اذ تتغير شدة المجال المغناطيسي حول الملف اثناء مرور الاسنان قربهِ مسبباً حدوث نبضه على طرفي الملف .

واذا استخدم دوار ذو أسنان متعددة فيتولد نبضة عند مرور كل سن منها قرب الملف فإذا كان عددها ستة مثلاً ، يكون تردد نبضات الخرج مساوياً $(6 \times \text{السرعة} / \text{الدقيقة} / 60)$ او (دورة/ دقيقة/ 10) وتزداد قيمة فولتية الخرج عند اقتراب الملف من القرص الدوار أي بتصغير المسافة بين القرص والملف الخاص بنقاط هذه النبضات ، كما تعتمد قيمة فولتية الخرج على سرعة الجزء الدوار وكذلك على زيادة عدد الاسنان في المحيط .

10.10 مغيرات الإشارة ذات المفاعلة المتغيرة :

تستخدم هذه المجموعة من أنواع مغيرات الإشارة التي تولد الازاحة فيها مفاعلة حثية او سعوية في كثير من التطبيقات العملية ، ويجب أن يكون مصدر التيار او الفولتية المجهزة لهذه الأنواع مصدراً متناوباً لعدم امكانية التحسن بتغير قيمة المفاعلة في غير ذلك . وقد يسبب هذا الشرط ان تكون هذه الأنواع غير منسجمة مع بقية اجهزة القياس . ومع ذلك يتم صناعة عدد كبير من الأنواع في الوقت الحاضر تتمكن من العمل بمصادرة ac او dc اذ تزود بمغيرات تعمل على تحويل dc الى ac عند الادخال كما يمكن تحويل ac الى dc عند

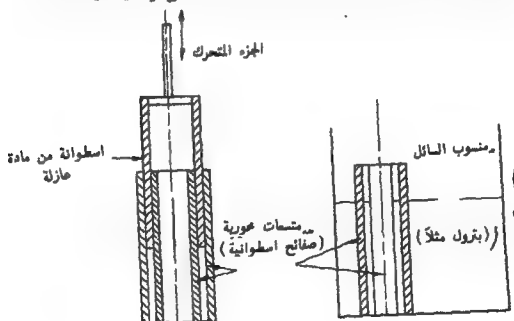
الاعراج اي يمكن لهذه الانواع العمل بفولتية dc عند ربطها ببقية الاجهزة الا ان مجال عملها الداخلي يكون بفولتية ac ويمكن تصنيف مغيرات الاشارة هذه الى ثلاثة اصناف هي :

0.10.1 أ) التغيرات السعوية :

سبق وأن ذكرنا ان تغيرات معظم الظواهر الفيزيائية يمكن تحويلها الى تغيرات في الازاحة ، وبما ان قيمة المتسعة بين صفيحتين متوازيتين تتناسب مع الازاحة بينها (d) اي $(\epsilon A/d)$ اذ تمثل ϵ ، ثابت العزل للمادة الموجودة بين الصفيحتين وتمثل A مساحة الصفيحة الواحدة كما تمثل d المسافة او الازاحة بين هاتين الصفيحتين . فعند تغير أي من هذه الكميات يتولد تغيراً في قيمة المتسعة الموجودة بين طرفي الصفيحتين .

أ) تغير العازل :

يوضح الشكل 10.23 مخططين لنوعين من مغيرات الاشارة المعتمدة على تغير العازل. يعتمد اولها على انزلاق العازل بين القطبين وهما بشكل اسطوانتين متداخلتين اذ يسبب هذا الانزلاق الى الداخل او الخارج في تغير قيمة المتسعة .

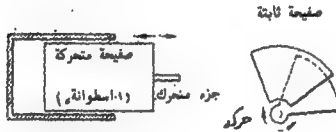


الشكل 10.23 مغيرات اشارة تعتمد على التغير السعوي .

اما النوع الثاني فيعتمد على قياس ارتفاع السائل في دورق ، ومن المهم في كلا النوعين أن يكون ثابت العازلية للمادة الموجودة بين القطبين مختلفة عن عزل الهواء وبذلك نحصل على تغيير واضح في قيمة المتسمة .

ب - تغيير مساحة الصفيحة (القطب) :

يمكن تغيير مساحة القطب وذلك لتغير قيمة المتسمة بين القطبين ، وبم هذا بترتيب معين كما هو موضح في الشكل 10.24 فبند تحريك الجزء المتحرك بزاوية معينة يؤدي ذلك الى تغيير قيمة المتسمة عند تغيير الاشارة



الشكل 10.24 مغير اشارة سموي يستخدم التغير في مساحة صفيحة .

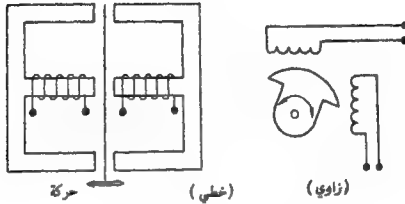
ج (تغيير المسافة بين القطبين :

وهي الطريقة الثالثة المستخدمة في تغيير قيمة المتسمة ويوضح الشكل 10.25 أكثر الطرق شيوعاً في تركيب مثل هذه الاجهزة ومن ميزاتها سهولة تركيبها وحاجتها الى قوة صغيرة جداً لتغيير موضع احد القطبين فقط ويمكن ضبط المسافة بين القطب الثابت والمتحرك بقيمة معينة ولا تتغير كما في جالت. بعض انواع مغيرات الاشارة .



الشكل 10.25 مغير اشارة سموي يعتمد على

إن دوائر القياس المرافقة لمغريات الإشارة المذكورة توفّر تتضمن بعض انواع القناطر او المضخات بصورة عامة وهي من السهولة في بعض الحالات اذ لا تتجاوز عناصر مثل هذه الدوائر مقاومتين ومسمتين وهي تشبه الى حد ما دائرة القنطرة الموضحة في الشكل 10.26 اذ استخدمت محولة راديو مع دائرة المقاومة للتعويض عن تأثير المقاومة التسريعية المرافقة عادة بمسعة ومغير الإشارة .



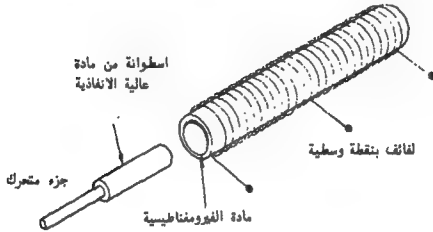
الشكل 10.26 مغريات إشارة حثية .

وقد يربط هذا النوع من مغريات الإشارة الى دائرة مذبذب اذ يقوم بتغيير ذبذبة خرج الجهاز عند تغيير متسعة مغير الإشارة وبذلك يمكن قياس الظاهرة المؤثرة على مغير الإشارة .

10.10.2) التغيرات الحثية :

تعتمد قيمة مفاعلة أي ملف على الطريقة التي تقطع فيها لفات الملف خطوط المجال المغناطيسي . ويمكن الحصول على تناسب معين بين التغير في الفيض المغناطيسي للملف نسبة الى تغير بعض الظواهر المطلوب قياسها ، كما يمكن قياس هذا التغير في الهائلة بقياس الفرق في الاتساع بواسطة القنطرة المتوازنة او يقاس التغير في التردد الرنيني في دائرة مذبذب . اما طرق الحصول على هذا التغير في الهائلة فهي :

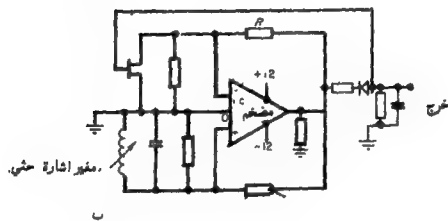
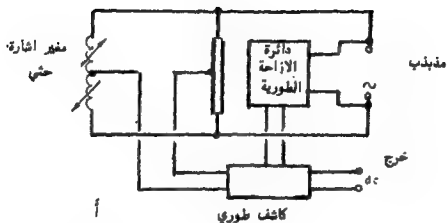
أ) طريقة تغيير معاوقة (المقاومة المغناطيسية) مسار الفيض المغناطيسي وذلك بتحريك موضع المنتج (armature) بصورة تجعل الازاحة متغيرة خطياً أو زاوياً . كما هو موضح في الشكل 10.26 . ويكون هذا ملائماً لمغزات الإشارة الخاصة بقياس مثل هذه الظواهر كالضغط والتمجيد والقوى والازاحة أو تغيير الموضع .



الشكل 10.27 مؤشر إشارة حثي يعتمد على حركة مادة مغناطيسية داخل ملف .

ب) طريقة تحريك الـ Slug المصنوع من مادة حديدية ذات مغناطيسية ثابتة permeance magnet والتي تتحرك داخل محور ملف الملقوف على لب من الفيرومغناطيسية . (لاحظ الشكل 10.27) فإذا وضع الـ slug في المنتصف فإن نصفي الملف سيكونان متساويين وعند حركته إلى أحد الاتجاهين فيؤدي ذلك إلى زيادة هائلة أحد الملفين ونقصان الآخر .

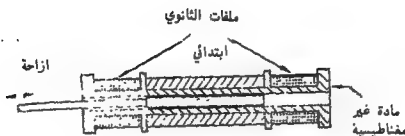
وقد يكون الملف أحد أجزاء دائرة قنطرة أو متصلة بدائرة مذبذب (لاحظ الشكل 10.27) إذ أن تغير قيمة الملف يحدث تغيراً في توازن القنطرة أو تغيراً في التردد يتناسبان مع تغيير الملف .



الشكل 10.27 دوائر لياس مغير الإشارة الحثي
(أ) خرج dc
(ب) خرج بتردد متغير.

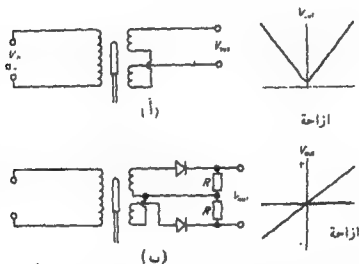
10.11 المحولة التفاضلية :

يحدث تغير في قيمة الحثية لهذا النوع من مغيرات الإشارة نتيجة تغير في الاقتران المتبادل بين اللغائف بدلاً من تغير الحثية الذاتية للملف ويمكن الحصول على تغير في الحثية التبادلية هذه ، بتحرك اللب المصنوع من الفيرومغناطيسية داخل تركيبة الملف كما هو موضح في الشكل 10.28 . ويوجد عادة ملف ابتدائي واحد وملفان ثانويان . وتلف الملفات على جسم عازل ذي صفات غير



الشكل 10.28 مغير إشارة يعتمد التبادل الحثي .

مغناطيسية من أجل الحفاظ على خطية الجهاز ، اما في حالة الاجهزة الزاوية فيستخدم فيها لب من مادة الفيرومغناطيسية وتكون الدوائر الكهربائية الخاصة بالمحول التفاضلية هي كما موضح في الشكل 10.29 (أ) والتي تعطي فولتية ac عند الخرج وهي تزداد في اتساعها عند اقتراب الازاحة من الصفر . ويمكن تطوير مثل هذه الدائرة الى دائرة اخرى تعطي فولتية مباشرة عند الخرج . وتعتمد قطبية الفولتية على اتجاه الازاحة كما في الشكل (ب) 10.29 اما من الناحية العملية فتكون الدوائر اكثر تعقيداً .



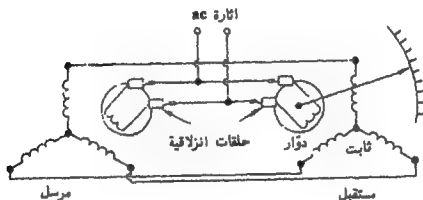
الشكل 10.29 دوائر عملية نستخدم مع مغيرات الإشارة المحولة التفاضلية .

يحتاج مغير إشارة المحولة التفاضلية بأنه جهاز منخفض الممانعة وهو قادر على قياس الحالات المستقرة ، وكذلك الازاحات المتغيرة في 2 ملم الى 50 سم وكذلك

فهو يستخدم لقياس عدد كبير من الكميات او الظواهر وذلك بعد تحويل التغيرات فيها الى ازاحات متغيرة .

10.12 المتزامن : (Synchro)

يدعى احد انواع مغناط الاشارة المستخدمة في قياس الموضع الزاوي او الحركة بالمتزامن (Synchro) ويستخدم فيه وحدتان متشابهتان ، تدعى احدهما بالمرسلة والثانية بالمستقبل . وتتكون كل منها من جزء دوار (rotor) محوري وجزء ساكن (stator) ذي ملفات ثلاث موزعة ببعد 120 درجة (لاحظ الشكل 10.30) وعند التشغيل يزود الدوار في كل وحدة بتيار متناوب من خلال الحلقات الانزلاقية وبتردد يتراوح بين (50 الى 400 هرتز) فاذا كان الدوار في كل جزء في موضع واحد نسبة الى لفائف الجزء الساكن ، تكون قيمة التيار بينهما مساوية للصفر . اما اذا تحرك الدوار في الجهة المرسلة نسبة للقيمة الجزء الساكن . ففي هذه الحالة تختلف الفولتيات المحثة في الجزء الساكن للطرفين أي سيمر تيار بقيمة معينة في الاسلاك الموصلة بينهما . تولد هذه التيارات عزماً في دوار الطرف المستلم مسببة حركة الدوار تبعاً لدوار الجزء المرسل .

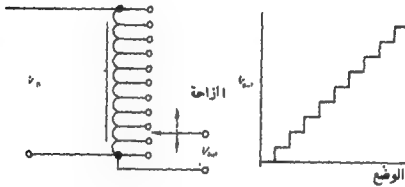


الشكل 10.30 نظام قياس « المتزامن »

تعتمد دقة الموضع لهذا النظام على الحلقات الحاملة للدوار (bearings) في طرف الاستلام .

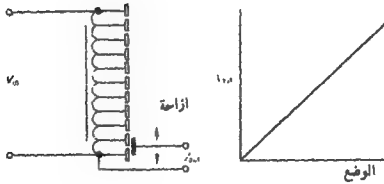
10.13 المحولة الذاتية :

من الصعب تصنيف هذا النوع من مغيرات الاشارة بأحد الاصناف الواردة سابقاً إذ تستخدم المحولة الذاتية الاقتران الكهرومغناطيسي لتجزئة او خفض الفولتية المسلطة (ac) ويمكن الحصول على نغومة في هذا التغير باضافة متعة كما هو موضح في الشكل (10.31 ب) . ويكون لهذا النوع من مغيرات الاشارة استجابة جيدة بالنسبة لتطبيقات المكائن الكهربائية وسهل التحكم بها .



(أ)

(اتصال مباشر)



(ب)

(اتصال عن طريق حث سعوي)

الشكل 10.31 مغير اشارة يعتمد على وضع النقطة المتحركة في محولة ذاتية .

10.14 اجهزة شبه الموصلات :

تتأثر الخواص الكهربائية للمواد شبه الموصلة بتغيير درجة الحرارة ، وشدة الضوء والقوة المسلطة عليها . وتختلف دقة المواد الموصلة هذه بدرجة اكبر من بقية المعادن وقد تولد هذه النقطة مشكلة اخرى في بعض التطبيقات ، فمثلاً عند استخدام شبه الموصل لقياس شدة الاجهاد نلاحظ أن اختلاف درجة الحرارة تؤثر على قيمة الناتج ولهذا نحتاج الى اضافة عناصر اخرى او دوائر كهربائية للتعويض عن الاختلاف .

10.15 المقاومة الحرارية Thermistor

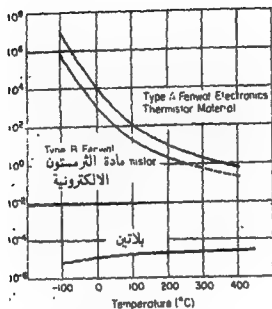
إن المقاومات الحرارية أو الثرمستون هي مركبات شبه موصلة ولها سلوك مقاومة ذات عامل حراري سالب ، فمثلاً تنخفض قيمة المقاومة الحرارية في درجة حرارة الغرفة بقيمة 6% من القيمة الكلية عند ارتفاع درجة الحرارة بدرجة مئوية واحدة . وتبعاً لهذه الحساسية العالية للثرمستون بالنسبة لاختلاف درجة الحرارة فقد جعلت من الثرمستون منها عنصراً مناسباً في قياسات درجة الحرارة والسيطرة عليها أو للتعويض عن تأثيرها ، كما يمكنها العمل في درجات حرارية مختلفة . تتكون مادة الثرمستون من اكاسيد بعض (المعادن مثل المغنيسيوم والنيكل والكوبلت والنحاس والحديد واليورانيوم) . وتراوح مقاومتها بين 0.5 أوم الى 75 كيلو أوم وهي متوفرة بأشكال مختلفة اذ تصنع بشكل اسطواني يشبه المقاومات الاعتيادية أو بشكل اقراص بأحجام 0.15 ملم الى 25 ملم وقد يمكن في بعض الاوقات ربط عدد منها على التوالي أو التوازي وذلك لتوزيع القدرة على عدد منها وهناك ثلاث خواص مهمة للمقاومات الحرارية تجعلها مفيدة في القياسات وتطبيقات السيطرة . وهذه الخواص هي :

أ - الخواص المقاومة نسبة الى درجة الحرارة .

ب - خواص التيار - الفولتية .

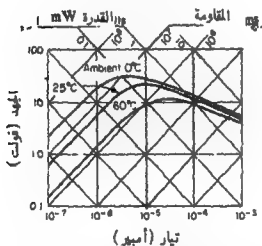
ج - خواص التيار - الزمن .

يوضح الشكل 11.37 نماذجاً لهذه الخواص :



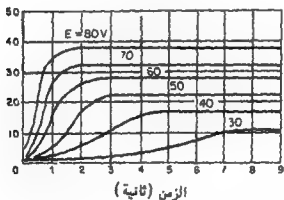
(أ)

خواص المقاومة - درجة الحرارة



(ب)

خواص التيار - الفولتية



(ج)

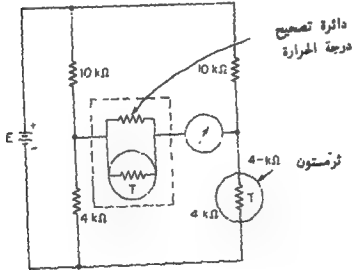
خواص الزمن - التيار

الشكل 10.37 نماذج خواص الترمستور

تطبيقات المقاومة الحرارية :

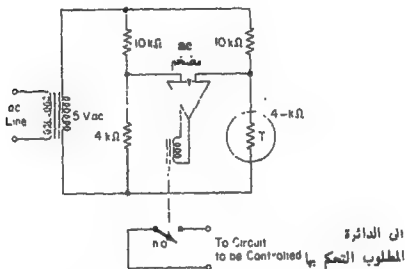
على الرغم من أن المقاومات الحرارية هي من أكثر العناصر شيوعاً في تطبيقات السيطرة على درجة الحرارة ، إلا أنه يمكن استخدامها في تطبيقات أخرى مختلفة ويمكن توضيح عدد من هذه التطبيقات في هذه الفقرة .

تتغير مقاومة الترمستون تغيراً كبيراً في كل تغير في درجة الحرارة (وتدعى بالحساسية) مما يجعل هذا النوع من المقاومات مناسبة في مغريات الإشارة الخاصة بالتحسس وقياس درجة الحرارة . فمثلاً تكون أحد أنواع المقاومات الحرارية المستخدمة في الصناعة ذات مقاومة 2000 أوم عند درجة 25 مئوية ولها عامل حراري بمقدار 2.9% لكل درجة حرارية مئوية ، أي تعطي 78 أوم لكل درجة مئوية . فعند ربط هذه المقاومة الحرارية على التوالي في دائرة تحوي على بطارية ومقياس تيار ، يؤدي الاختلاف في المقاومة الحرارية نتيجة الحرارة تغيراً في التيار المار في الدائرة ، ويمكن تقسيم لوحة مقياس التيار نسبة لدرجة الحرارة وقد يمكننا تحسس التغير في درجة الحرارة وبدقة تصل إلى 0.1 درجة مئوية . كما يمكن الحصول على حساسية عالية في القياس عند استخدام القنطرة الموضحة في الشكل 10.38 إذ يمكن بواسطة هذه الدائرة وباستخدام المقاومة الحرارية 4 كيلو أوم من الإشارة إلى أي تغير في درجة الحرارة وبدقة قد تصل إلى 0.005 درجة مئوية .



الشكل 10.38 قياس درجة الحرارة بواسطة ثرمستون .

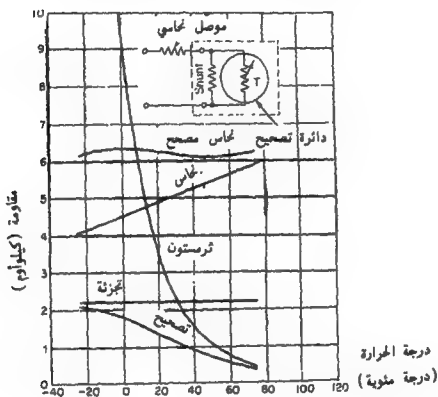
وبهذه الدقة العالية مع استخدام مقاومة حرارية عالية القيمة (قد تصل الى 100 كيلوأوم) نجد أن المقاومة الحرارية عنصر ملائم يمكن استخدامه للقياس عن بعد والتحكم عن بعد. ويمكن بناء دائرة الكترونية بسيطة للسيطرة على درجة الحرارة وكذلك بوضع مرحلة بدلاً من مقياس التيار الموضح في الشكل 10.38 أي يصبح الشكل النموذجي لدائرة السيطرة الحرارية كما هو موضح في الشكل 10.39 إذ تسلط الفولتية الناتجة من عدم توازن القنطرة الى مضخم ac الذي يسوق مرحلة او عنصر من عائلة SCR. التي تقوم بدورها بتوصيل دائرة القدرة المتصلة بالعنصر الحراري الخاص بالتدفئة. ويمكن لهذه الدائرة العمل بدقة عالية جداً ويتحسس حراري عالٍ.



الشكل 10.39 دائرة تحكم تعتمد على درجة الحرارة.

ومن مميزات انظمة السيطرة التي تحوي على مقاومات حرارية (ثرمستون) أن لها حساسية عالية وذات استقرارية وسرعة في العمل فضلاً عن حاجتها الى دوائر سهلة جداً. تستخدم المقاومات الحرارية (الثرمستون) ذات العامل الحراري السالب (أي نقصان قيمة المقاومة بارتفاع درجة الحرارة) في التعويض عن تأثير درجة الحرارة على الموصلات او شبه الموصلات والتي يكون عاملها الحراري موجباً. وهي نقطة مهمة في عمل الدوائر الالكترونية واستقرارها للحصول على ادائها الجيد. وتستخدم الثرمستون ذات الشكل القرصي في درجات

حرارية لا تزيد عن 125 درجة مئوية وعند ربط هذا النوع في دائرة معينة قرب الملف النحاسي للمقايس مثلاً ، يمكن لهذه الدائرة العمل بصورة جيدة واعطاء مقاومة كلية ثابتة على الرغم من تغيير درجة الحرارة . ويوضح الشكل (10.40) منحنيات التغير في مقاومة النحاس واختلاف درجة الحرارة وكيفية التعويض عن هذا الاختلاف في المقاومة باستخدام المقاومة الحرارية .



الشكل 10.40 دائرة تصحيح درجة الحرارة تستخدم الثرمستون .

وهناك تطبيقات أخرى تستخدم فيها مقاومتان حراريتان توضعان في تجويفين منفصلين في كتلة من الخارصين . وتشكل هاتان المقاومتان من جهة أخرى أذرعاً لقنطرة كهربائية وتكون هذه القنطرة متوازنة عند مرور الهواء في كلا التجويفين بصورة متساوية . أما إذا مر غاز غير الهواء وبتوصيلية مختلفة عنه (أقل توصيلية مثلاً) فستخرج القنطرة من التوازن وذلك لارتفاع درجة حرارة المقاومة الحرارية القريبة من الغاز وانخفاض قيمتها المقاومة . وتمثل قيمة عدم

الانزان درجة توصيلية الغاز ويمكن كذلك ضبط المقياس بتدرج معين لتحديد درجة توصيل أي غاز آخر .

إذا استخدمت قنطرة واحدة ذات تجويفين واغلق أحد التجويفان في حين ربط الآخر بانبوب صغير ، عند ذلك يمكن استخدام هذا الترتيب مقياساً لكمية الهواء او الغاز الحار في الانبوب إذ يمكن موازنة القنطرة في حالة عدم مرور الغاز اما عند مروره فسيؤدي ذلك الى خفض درجة الحرارة المقاومة الحرارية المتصلة بالانبوب مما يجعل القنطرة خارجة من التوازن وتتناسب كمية الغاز المار مع كمية الانخفاض بدرجة الحرارة ويمكن ضبط المقياس نسبة لكمية الغاز مباشرة .

10.15 مغيرات الاشارة الكهروضوئية :

العناصر الكهروضوئية هي مركبات يعتمد تشغيلها على الطاقة المشعة او الضوء وهي تعمل في عرض حزمة واسعة من الترددات فهي حساسة لالوان الطيف أكثر من العين البشرية ويمكنها العمل في مجال الاشعة فوق البنفسجية والاشعة تحت الحمراء بكفاءة عالية .

ولقد دخلت هذه المركبات الكهروضوئية في تطبيقات هندسية متعددة وسنحاول من هذا الفصل الاشارة باختصار الى انواع المركبات هذه مع عدد من التطبيقات .

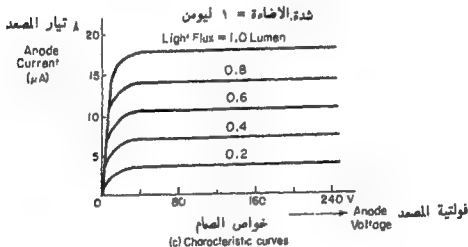
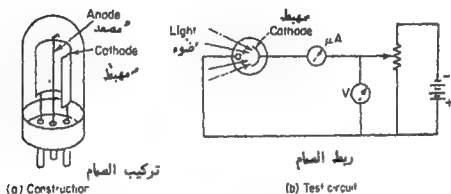
أ) الصمامات الضوئية الخلاية :

وهي تستخدم في التطبيقات التي تكون الاشارة الضوئية فيها قصيرة أو ذات تردد عالٍ .

يعتمد الصمام الضوئي في عمله على خاصية الاشعاع الضوئي ولذلك يدعى بالصمام الضوئي ونتيجة لسقوط الضوء على الكاثود تنبعث منه عدد من الالكترونات يمكن السيطرة عليها بكمية الضوء أو الطاقة الضوئية الساقطة على الكاثود .

يوضح الشكل 10.41 شكل الصمام ومكوناته وكذلك طريقة ربطه في دائرة سهلة . يكون الكاثود بشكل نصف اسطواني في حين يكون الانود مكوناً من

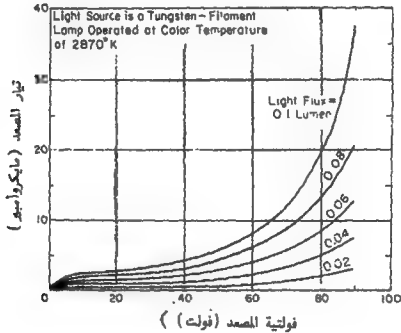
سلك يوضع امام الكاثود ويوضح كلا المنصيرين في زجاجة مفرغة من الهواء . وعند تسليط فولتية ثابتة بين المهبط والمصدر يمر التيار في الدائرة متناسباً في قيمته مع كمية الضوء أو شدة الضوء الساقطة عليه . يوضح الشكل 10.41 جـ الخواص الأساسية لصمام مفرغ من الهواء . ويكون التيار الخارج من الانبوبة قليل نسبياً (في حدود 4-10 مايكروأمبير) لذا يفضل عادة ربط الصمام بمصمم يعمل على تكبير الإشارة الخارجة لتمكين من الاستفادة منه .



الشكل 10.41 مكونات الصمام الضوئي وخواصه

ب) الصمام الضوئي المملوء بالفاز :

يتكون هذا النوع من الصمامات الضوئية بشكل يشابه النوع الخلى من الهواء فإما عدا وجود غاز حامل في الانبوبة المحيطة بالكاثود والانود . ويستخدم عادة غاز الاركون ويضغط منخفض جداً . ينبعث الالكترون من الكاثود بتأثير الطاقة الضوئية المسلطة ويتجه بتجميع معين خلال الفاز بتأثير الفولتية المسلطة . فإذا زادت طاقة الالكترون عن الطاقة اللازمة لتأين الغاز (فولتية التأين) يؤدي ذلك الى تأين الغاز نفسه ويزداد التيار المار بين الكاثود والانود عند زيادة قيمة الفولتية المسلطة بينهما عن فولتية التأين . أما إذا ازدادت الفولتية الى قيمة عالية جداً يصبح من الصعب السيطرة على كمية التيار المار في الصمام وتتاين الغاز بأجمعه ويصبح الصمام متوهجاً ، ويجب تجنب هذه الحالة اذ قد يؤدي ذلك الى تلف الصمام ويمكن ملاحظة خواص الفولتية - التيار للصمام الغازي بملاحظة منحنيات الشكل 10.42 وبمقارنتها مع الصمام الضوئي الخلى .

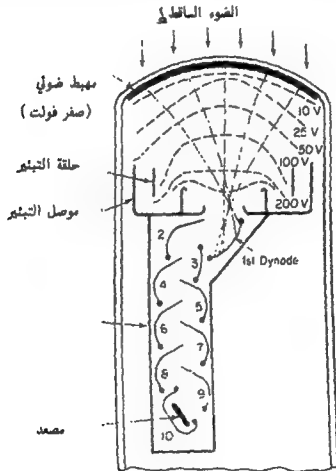


الشكل 10.42 منحنيات وخواص الصمام الضوئي الغازي .

الصمام الضوئي المضخم :

يستخدم هذا النوع من الصمامات الضوئية عند الحاجة الى كشف الضوء الضعيف جداً . ويستخدم في هذا الصمام في عمله ظاهرة الانبعاث الالكتروني الثانوي والذي يؤدي الى زيادة وتضخم التيار بهامل يزيد عن 10^6 وبهذا يصبح مفيداً جداً في كشف المستوى الضوئي المنخفض والاستفادة منه تنبعث الالكترونات من الكاثود الضوئي وبتمجيل المجال الكهربائي باتجاه سطح آخر يدعى بالدانيود *dynode* .

فاذا كانت الفولتية المسلطة على الدانيود بقيمة مناسبة فينبعث منها ثلاثة الى ستة الكترونات ثانوية عند ارتطام الالكترون القادم اليها ، ويتم تركيز الالكترونات الثانوية في اتجاه آخر لترتطم بدانيود ثان وتكرر العملية . وبهذا يمكن مضاعفة التيار النبعث من الكاثود الاصلي اضعافاً عديدة .



الشكل 10.43 مضاعف التيار الضوئي .

يوضح الشكل 10.43 مضاعف التيار الضوئي ذي عشرة دايونودات ويثمل السطح الاخير الأنود الذي يخرج منه التيار الى الدائرة الخارجية .

يعتمد الكسب في هذا الصمام على الدايونود وعلى خواص المادة التي صُنِعَ منها الدايونود ويتم تقسيم الفولتية المسلطة بصورة مدرجة على الدايونود اي بمشـر مراحل للنوع المذكور في الشكل 10.43 .

ويجب ابعاد هذا الصمام عن المجالات الكهربائية المختلفة لانها تؤثر على عمله وتؤدي الى اغراف الالكترونات عن مسارها الصحيح . ومن اجل ذلك يغلف الصمام عادة بشبكة معدنية .

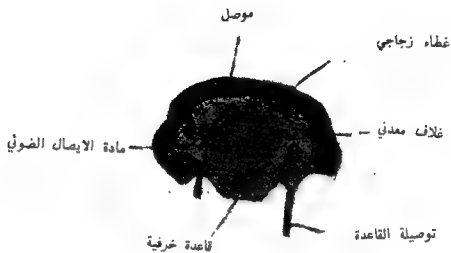
خلايا التوصيل الضوئية :

تعتمد درجة توصيل مثل هذه الخلايا على الاشعاعات الكهرومغناطيسية الساقطة عليها وتصنع هذه الخلايا عادة من مواد شبه الموصلة وتعتمد في توصيلها الكهربائي على الضوء مثل كبريتيد الكادميوم ، والجرمانيوم والليكون ويستخدم النوع الاول في التطبيقات المطلوب عرض نتائجها على العين البشرية مثل الكاميرات وغيرها لأن استجابة هذا النوع من الخلايا قريب جداً من استجابة العين البشرية .

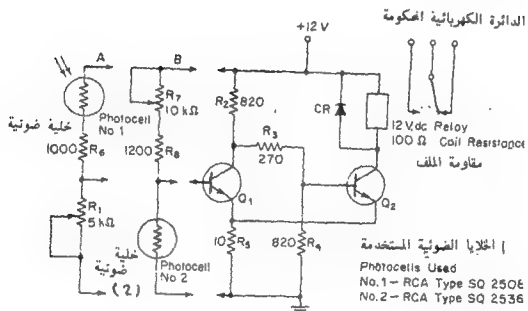
يتكون هذا النوع من الخلايا من قطعة خزفية يوضع عليها مادة التوصيل الضوئية وتغطي بلوح زجاجي لمنع الاتربة عنها يوضح الشكل (10.44) مقطعاً للخلية الضوئية .

يوضح الشكل (10.45) دائرة للسيطرة على جهاز معين يعتمد تشغيلها على تغيير المحياز الترانستور من خلال تغيير المقاومة المربوطة في قاعدته اعتاداً على الضوء الساقط عليها . وينتج عنها تشغيل المرحلة التي توصل او تفصل دائرة القدرة الكهربائية .

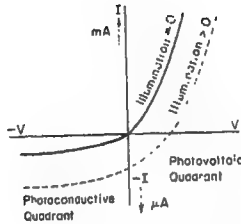
يعتمد تشغيل الخلية على حساسيتها للضوء وعلى خواصها (الفولتية - والتيار) ويوضح الشكل (10.46) لمودجاً لهذه الخواص ويشر الخط الصلب الى علاقة التيار والفولتية بدون تسليط أية طاقة ضوئية ويزحف هذا المنحنى الى الاسفل عند تسليط الضوء على وصلة الـ PN .



الشكل 10.44 مفتاح للخلية الضوئية .



الشكل (10.45) دائرة سيطرة تستخدم الخلية الضوئية .



بالشكل (10.46) نموذج لخواص الفولتية - التيار .

تكون الاستجابة الزمنية للخلية الضوئية عالية جداً مما يجعل استخدامها في تطبيقات الترددات العالية ممكناً حتى في المجال الترددي الاعلى من المجال المسموح .

خلايا الفولتية الضوئية : -

يستخدم هذا النوع من الخلايا في عدد من التطبيقات وهي تعمل بفكرة تحويل الطاقة الضوئية للشمس مثلاً الى طاقة كهربائية ، وتتكون من طبقة من السيليكون البلوري نوع P - وبساحة تصل الى 2 سم مربع . يوضع فوقها طبقة رقيقة (0.5 مايكرون) من مادة نوع N . وتعتمد كفاءة تحويل الطاقة على مكونات الاشعة الساقطة وشدها .

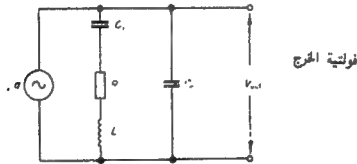
يمكن استخدام هذا النوع في الصناعة لقراءة الطاقات المثقبة مثلاً وذلك بالتعسس بالضوء المار خلال الثقوب ، فضلاً عن كونها مصدر للطاقة الكهربائية يمكن الاستفادة منه في بعض الاجهزة الاخرى .

10.16 مغيرات الإشارة المعتمدة على كهربائية الاجهاد : Piezoelectric

يعتمد هذا النوع من مغيرات الإشارة على خاصية الكهربائية الاجهادية لبعض المواد البلورية والحزف في توليد الاشارات الكهربائية .
إذ يمكن الحصول على طاقة كهربائية بين طرفي البلورة عند تسليط اجهاد معين عليها والعكس صحيح كذلك .

اما كيفية تسليط القوة الميكانيكية وقيمتها فيعتمد على نوع البلورة والغرض من استخدامها ونترك تفصيل ذلك في مصادر الموضوع المذكور .

تكون ممانعة الخرج للبلورات الاجهاد الكهربائي كافة عالية جداً ولذلك يجب ربط مغير الإشارة باجهزة اخرى ذات ممانعة ادخال عالية مثل مضخات العمليات وغيرها . ومن مساوئ استخدامها ارتفاع ثمنها نسبياً . يوضح الشكل (10.47) الدائرة الكهربائية المكافئة لمغير الإشارة البلوري ويمكن الاستفادة من هذا المخطط لمعرفة تأثيره على دوائر الترددات العالية .



الشكل 10.47 الدائرة المكافئة لمغير الإشارة البلوري .

10.17 مغيرات الإشارة المعتمدة على العناصر الكهروحرارية :

لاحظ العالم (جون سيباك) John Seebask انحراف البوصلة المغناطيسية عند وضعها قرب دائرة مكونة من سلكين موصلين مختلفين المعدن . وينتج انحراف البوصلة الكهربائية عند تسليط حرارة على جزء من الدائرة أي تشير الى مرور تيار كهربائي .

كما لاحظ العالم الفرنسي جارس بلنير وهو صانع ساعات أن مرور تيار في موصلين مختلفي المبدن يؤدي الى تغيير درجة حرارتهما . ولوحظ أن درجات الحرارة في اطراف الاسلاك مختلفة ايضاً . فالنقاط الواقعة على جهة الطرف السالب للمصدر تكون درجة حرارتها منخفضة مقارنة بالنقاط الواقعة على جهد الطرف الموجب .

الاقتران الحراري /

تعتمد فكرة الاقتران الحراري على ظاهرة سيالك اذ تكون هذه الطريقة اكثر الطرق شيوعاً في القياس الحراري .

يتكون هذا النوع من مغيرات الاشارة من زوج من الاسلاك أو القضبان مربوطان من نهايتيهما بصورة محكمة . تستخدم احدى النهايتين كنقطة حارة (تخمس) في حين تستخدم النهاية الاخرى كنقطة باردة . يوضح الشكل 10.48 مخططاً لهذا النوع من مغيرات الاشارة يمكن الحصول على نقطة باردة باذابة الثلج ولكن مثل هذه العملية ليست مناسبة دائماً فمثلاً اذا استخدمت طريقة الاقتران الحراري لقياس درجة 1000 كلفن فان التغير الذي يحصل في (5 درجات مئوية مثلاً) ليس ذا أهمية تذكر على دقة القياس . ولذلك يمكن استخدام درجة حرارة الغرفة الاعتيادية مرجعاً في اغلب التطبيقات .

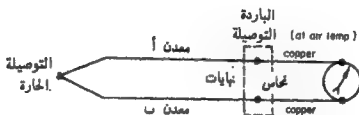


الشكل 10.48 مغير اشارة نوع الاقتران الحراري .

قياس طرفي سلكي الاقتران الحراري :

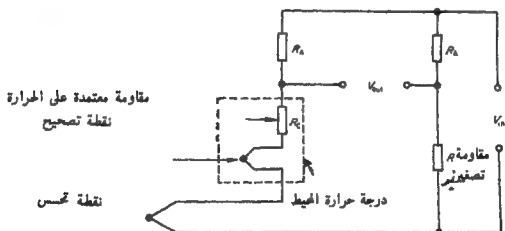
يستخدم الاقتران الحراري كمصدر للفولتية ويمكن قياس هذه الفولتية بواسطة مقياس فولتية ذات ممانعة ادخال عالية مثل مقياس الفولتية الرقمي

وتعتمد قيمة الفولتية (قراءة المقياس) على درجة الحرارة ومن جانب آخر يمكن استخدام مقياس تيار ذات مانعة ادخال واطئة لاكمال دائرة التيار ، كما هو موضح في الشكل 10.49 وتعتمد قيمة التيار المار في هذه الحالة على درجة الحرارة كذلك .



الشكل 10.49 قياس تيار عناصر الاقتران الحراري بواسطة مقياس تيار .

عند قياس درجات حرارة قريبة من درجة حرارة المحيط بواسطة الاقتران الحراري ، يجب ربط مقاومات تعويض **Compensating** للحصول على مرجع ثابت تقاري به القياسات يوضح الشكل 10.50 طريقة الحصول على مرجع ثابت في دائرة تقطرة حساسة يحوي على مقاومة الاقتران الحراري . اذ يتم التعويض عن تغيرات درجة حرارة المحيط بتغير المقاومة R_c ونقطة التحسس .



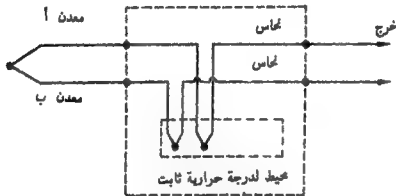
الشكل 10.50 الحصول على مرجع ثابت في دائرة المقترن الحراري .

معادن الاقتران الحراري :

يستخدم عدد من المعادن في صناعة الاقتران الحراري واكثر هذه المعادن شيوعاً في التطبيقات العملية هي :

- ١ - النحاس 0 — 370 درجة مئوية
- ٢ - الحديد 0 — 760 درجة مئوية
- ٣ - نيكل / المنيوم 0 — 1260 درجة مئوية
- ٤ - تنكستون الى 2760 درجة مئوية
- ٥ - سبيكة البلاتين / روديوم يمكن استخدامها الى 1750 درجة مئوية

يجب عزل سلكي الاقتران الحراري عن بعضهما . كما يجب الحفاظ على صلابة وجودة العازل وخاصة في الدرجات الحرارية العالية . تتوفر انواع مختلفة من اسلاك الاقتران الحراري من ناحية الشكل والحجم (0.75 ملم الى 3.0 ملم) . يمكن ربط عدد من اسلاك الاقتران الحراري (و ذات نوع واحد) مع بعضها على التوالي إذ تكون النقاط الحارة بدرجة حرارة واحدة كما تكون درجة حرارة النقاط الباردة متساوية . اما فولتية الخرج فتساوي فولتية سلك اقتران حراري واحد مضروباً بعدد توصيلات الاقتران الحراري في المجموعة يوضح الشكل 10.51 طريقة ربط عدد من اسلاك الاقتران الحراري للتحسس بدرجة الحرارة من جميع الاتجاهات وإن فكرة الاقتران الحراري هي أساس التصوير بالاشعة تحت الحمراء .



الشكل 10.51 طريقة ربط عدد من اسلاك الاقتران الحراري .

الفصل العاشر

- 1 - ماهي المواصفات الرئيسة المطلوبة في عنصر مغير الإشارة .
- 2 - ارسم الدائرة الكهربائية المكاثنة لجهاز قياس التعميل الموضح في الشكل وأكتب المعادلة التفاضلية الخاصة بها مع توضيح العلاقات الميكانيكية والكهربائية للمتغيرات .
- 3 - اذكر انواع مغير الإشارة الكهربائي لقياس الضغط موضعاً ذلك بتطبيق لكل منها .
- 4 - ماهو الفرق بين خلايا التوصيل الضوئية وخلايا الفولتية الضوئية ارسم دائرة كهربائية لتوضيح كيفية الاستفادة من كل منها .
- 5 - ربط مغير إشارة نوع مقاومة الاجهاد ذو عامل اجهاد 2.4 على قضيب حديدي ذي عامل مرونة $2 \times 10^6 \text{ Kg / cm}^2$. فإذا كانت مقاومة عنصر الاجهاد 120 أوم وتزداد الى 120.1 أوم عند تسليط شد على القضيب . احسب الشد عند النقطة المربوط بها عنصر الاجهاد .
- 6 - ماهو عنصر الاقتران الحراري ، وما هي المعادن المستخدمة فيه وكيف يتم الاستفادة منه في القياس الدقيق لدرجة الحرارة .
- 7 - اشرح اجزاء المتزامن موضعاً عمله بمخطط كيف يمكن الاستفادة منه في النواحي العملية .
- 8 - عرف مغيرات الإشارة ذات المفاعلة المتغيرة والسعة المتغيرة و اشرح عملها وأنواعها وكيفية ربطها مع اجهزة القياس .
- 9 - ماهي الحولة التفاضلية وكيف تستخدم عنصراً في القياس .

المصادر

- 1- Electrical Indicating Instruments, By G.F. TAGG.
Butterworth Co (Publishers) Ltd 1974 first ed.
- 2- Electrical Measurement Analysis, By Ernest Frank
McGraw-Hill Book Co. 1959. first ed.
- 3- Basic Electrical Measurements, By Melville B. Stout
Prentice. Hall. Inc 1960 2nd ed. Englewood cliffs, N.J.
- 4- Electrical Transducers for Industrial Measurement,
By P.H. Mansfield
Butterworths tco. (Publishers) Ltd 1973. 2nd ed.
- 5- Electrical Measurements and Measuring Instruments,
By E.W. Golding and F.C. Widds.
The Pitman press. 1962 5th ed.
- 6- Electrical Measurements (including Measuring
instruments.)
By Umesh Sinha
Tech. India Publications, 1978 1st ed
- 7- Basic Electricity and Electrical Measurements,
By B.R. Sharma S.K. Girdher S.M. Dhir and G.C. Garg
Tech, India Publications, 1978 1st ed.
- 8- Electronic Instrurmentation and measurement Techniques,
W.D. Cooper, A.D. Helflick. prentic-Hall-1985.
- 9- Electrical Instrumentation ,B.A. Gregory Macmillan-
1973.
- 10- Basic Electronic instrument hand -book, clyde. F.
Coombs, McGraw-Hill 1972.

- 1- A course in Electrical and Electronic Measurements and Instrumentation, by A.K. Sawhney-DHANPAT RAI of SONS-1988.
- 2- "Sensors and Transducers" M.J. Usher-Macmillan-1985.
- 3- Instrumentation, KIRK RIMBOI-American Technical society, chicago-1965.
- 4- Electrical Engineering Reference Book, Laughton & say 14th Edition, Butter worths-1985.

Biblioteca Alexandria



0326651

لغة العربية
٢٠٢٢